

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD INGENIERÍA

INDUSTRIAL

**ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



TESIS

**“EFECTO DE LA CINÉTICA DE HIDRÓLISIS ÁCIDA DE
ALMIDÓN DE MAÍZ (*Zea mays L.*) EN EL RENDIMIENTO PARA
LA OBTENCIÓN DE ETANOL”.**

PRESENTADA POR:

MILAGROS GERALDINE PUERTAS ZETA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Línea de investigación: Biotecnología

PIURA, PERÚ

2018

Tesis presentada como requisito para optar título de:

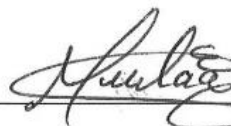
Ingeniería Agroindustrial e Industrias Alimentarias

Asesor:



Dr. Ludeña Gutiérrez Alfredo Lázaro

Tesista:



Puertas Zeta Milagros Geraldine

Bach. Ingeniería Agroindustrial e Industrias Alimentarias

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



TESIS

“EFECTO DE LA CINÉTICA DE HIDRÓLISIS ÁCIDA DE ALMIDÓN DE MAÍZ (*Zea mays L.*) EN EL RENDIMIENTO DE ETANOL”.

APROBADO:

MSc. LUCIANO CASTILLO TORRES
Presidente Jurado Calificador

MSc. CARLOS ENRIQUE MARIANO COELLO OBALLE
Vocal Jurado Calificador

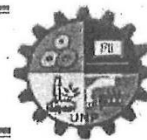
ING° LUCIANA MERCEDES TORRES LUDEÑA
Secretario Jurado Calificador

PIURA – NOVIEMBRE

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
DECANATO



ACTA DE EVALUACIÓN Y SUSTENTACIÓN DE TESIS

Expediente N° 1385 / 2017

Los miembros del Jurado Calificador Ad-Hoc de la Sustentación de Tesis nombrado con Resolución N° 052-CF-FII-UNP-17 de fecha 08/05/2017 que suscriben, se reunieron en acto público en la sala de exposiciones de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Piura, el día **07 de Noviembre del 2018** a las **12:00 pm**, para evaluar la defensa de la Tesis titulada **"EFECTO DE LA CINÉTICA DE HIDRÓLISIS ÁCIDA DE ALMIDÓN DE MAÍZ (*Zea Mays*) EN EL RENDIMIENTO DE ETANOL."**, presentada por la Bachiller **MILAGROS GERALDINE PUERTAS ZETA** y asesorada por el **Dr. ALFREDO LÁZARO LUDENA GUTIÉRREZ**.

Después de haber calificado el Informe Final de la Tesis, escuchada la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas por el Jurado, se le declara **..APROBADA..** para optar el Título de **INGENIERO AGROINDUSTRIAL E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS** con el puntaje de **..69..** que corresponde al calificativo de **.....BUENO.....**



Jurado	Presidente	Secretario	Vocal	Puntaje Promedio
Calificación				
Documento (Max 60 puntos)	42	43	44	43
Sustentación (Max 40 puntos)	25	27	26	26
PUNTAJE TOTAL				69

En consecuencia, la sustentanta queda en condición de recibir el Título Profesional que se indica, conferido por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura de conformidad con las Normas Estatutarias y la Ley Universitaria en vigencia.

Ciudad Universitaria, 07 de Noviembre del 2018

Dr. LUCIANO CASTILLO TORRES	MBA. LUCIANA MERCEDES TORRES LUDENA	MSc. CARLOS ENRIQUE MARIANO COELLO OBALLE
PRESIDENTE	SECRETARIO	VOCAL

DEDICATORIA:

El presente trabajo de investigación se lo dedico a mis padres por su incommensurable amor, su confianza, su dedicación y ejemplo de inquebrantable de luchar ante las adversidades y superar los obstáculos, por su apoyo y gran ayuda, también por su incondicional cariño buscando siempre un mejor estilo de vida para nosotros sus hijos.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de investigación, así como otros muchos más ejecutados a lo largo de mi carrera universitaria, son producto del esfuerzo, sacrificio e inspiración de diferentes factores humanos y divinos que nos rodean gracias a ello uno se va desarrollando profesionalmente y humanamente, el resultado se ve reflejado en el caminar diario en la lucha que afrontamos día a día en nuestra vida.

Un agradecimiento muy especial y afectuoso a mis padres Juan y Yolanda, y a mi hermano Carlos, por su motivación y no dejar que en este arduo camino los vaivenes de la vida me impidan continuar, así mismo quiero agradecer a mi asesor y amigo que me acompañó en la ejecución de este proyecto de índole más personal que profesional, al Dr. Alfredo Lázaro Ludeña Gutiérrez, porque a pesar de sus múltiples funciones y obligaciones supo asesorarme, escucharle, apoyarme y darme aliento constante para lo logrado. De la misma manera un agradecimiento especial a mi creador por guiarme y no desampararme en los momentos más difíciles por los que tuve que pasar.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I. ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA.....	5
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	5
1.2. Justificación e importancia de la investigación.....	6
1.3. Objetivo.....	8
1.3.1. Objetivo general.....	8
1.3.2. Objetivos específicos.....	8
1.4. Delimitación de la investigación.....	8
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedentes de la investigación.....	9
2.2 Bases teóricas.....	14
2.2.1. Maíz.....	14
2.2.1.1. Descripción del producto.....	14
2.2.1.2. Propiedades y usos.....	14
2.2.1.3. Planta de maíz.....	15
2.2.1.4. Secuencia morfológica de la posible evolución de la mazorca y el maíz.....	16
2.2.1.5. Clasificación taxonómica.....	17
2.2.1.6. Diversidad de maíz en el continente americano.....	18
2.2.1.7. Composición química del grano de maíz.....	20
2.2.1.8. Producción de maíz en Perú.....	21
2.2.2. Almidón de maíz	22
2.2.2.1. Amilosa.....	24
2.2.2.2. Amilopectina	24

2.2.2.3. Composición química del almidón.	25
2.2.3. Producción de etanol.....	26
2.2.3.1. Materias para la producción de etanol.....	28
2.2.3.2. Procesos de obtención de etanol.....	28
2.2.4. Métodos de hidrólisis de almidón de maíz.....	30
2.2.4.1. Hidrólisis ácida.....	30
2.2.4.2. Procesos de hidrólisis ácida de almidón de maíz.....	31
2.2.4.2.1. Gelatinización.....	31
2.2.4.2.2. Sacarificación.....	31
2.2.4.2.3. Licuefacción.....	32
2.2.4.2.4. Fermentación.....	32
2.2.4.2.5. Levaduras.....	32
2.2.4.2.6. Destilación.....	32
2.2.5. Proceso de producción de alcohol	33
2.2.5.1. Microorganismos <i>saccharomyces cerevisiae</i>	33
2.2.5.2. Proceso tecnológico para la producción de alcohol y levadura saccharomyces cerevisia.....	34
2.2.5.3. Factores a tener en cuenta para el crecimiento y desarrollo de la levadura.....	34
2.2.5.4. Influencia de las condiciones de cultivo en la producción de alcohol y levadura.....	35
2.2.5.5. Factores de influencia en las cinéticas de fermentación alcohólica.....	36
2.2.5.6. La fermentación alcohólica.....	37
2.2.5.7. Tipos de fermentación alcohólica.....	38
2.2.5.7.1. Fermentación industrial.....	38
2.2.5.7.2. Fermentaciones naturales.....	39
2.2.6. Destilación.....	39
2.2.7. Alcohol.....	40
2.2.7.1 Algunas propiedades fisicoquímicas para el alcohol.....	41
2.3. Glosario de términos básicos.....	42
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	45

3.1. Materiales.....	45
3.1.1. Materia prima.....	45
3.1.2. Materiales biológicos.....	45
3.1.3. Reactivos.....	45
3.1.4. Material de laboratorio.....	45
3.1.5. Equipos.....	46
3.2. Métodos de análisis cualitativo.....	47
3.2.1. Método yodométrico para la determinación cualitativa del almidón.....	47
3.2.2. Método de refractometría para la determinación de la concentración de azúcares reductores	47
3.2.2.1. Obtención de la recta de calibración del índice de refracción vs concentración de azúcares reductores.....	47
3.2.3. Hidrólisis ácida.....	49
3.2.4. Tratamiento estadístico.....	54
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4.1. Resultados.....	56
4.1.1. Determinación de efecto de cinética, rendimiento, tiempo de hidrólisis en la producción de etanol a partir de almidón de maíz mediante hidrólisis ácida.....	56
4.1.2. Determinación de las características físicas y químicas del etanol, obtenido en la hidrólisis ácida.....	61
4.1.2.1 Cálculo de la densidad.....	61
4.1.2.2. Cálculo de viscosidad.....	62
4.1.2.3. Cálculo de conductividad térmica.....	64
4.1.3. Determinación del orden de la reacción cinética del etanol obtenido por hidrólisis ácida a partir del almidón de maíz.....	65

4.1.4. Determinación del balance de materia en el rendimiento de etanol.....	69
4.1.5. Estimación de costo de producción de etanol a partir de almidón de maíz a nivel de laboratorio.....	70
4.2. DISCUSIONES.....	71
CONCLUSIONES.....	73
RECOMENDACIONES.....	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
ANEXOS.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Estructura del maíz.....	16
Figura N° 2.2: Secuencia morfológica de la posible evolución de la mazorca del teocintle y el maíz.....	17
Figura N° 2.3: Producción y precio de maíz amarillo duro.....	22
Figura N° 2.4: Estructura química de la amilosa- Cheftel J. y Cheftel.....	24
Figura N° 2.5: Estructura de la amilopectina- Cheftel J. y Cheftel.....	25
Figura N° 2.6: Evolución de la producción mundial de los años 2010/2015.....	27
Figura N° 2.7: Evolución de la producción mundial por países 2010/2015.....	27
Figura N° 2.8: Esquema para la producción de etanol carburante: a) caña de azúcar, b) etanol.....	29
Figura N° 2.9: Procesos de destilación.....	40
Figura N° 3.1: Recta de calibración para la determinación de azúcares reductores usando refractómetro.....	48
Figura N° 3.2: Diagrama de flujo para la obtención de etanol a través de hidrólisis ácida de almidón de maíz.....	49
Figura N° 3.3: Diluciones de las muestras.....	51

Figura N° 3.4: Gelatinización de las muestras.....	51
Figura N° 3.5: Proceso de hidrólisis ácida.....	52
Figura N° 3.6: Eliminación de dextrina límite.....	52
Figura N° 3.7: Procesos de fermentación.....	53
Figura N° 3.8: Proceso de destilación por arrastre.....	53
Figura N° 4.1: Análisis de varianza (ANOVA) rendimiento de etanol.....	58
Figura N° 4.2: Superficies de respuestas para la estimación del rendimiento.....	60
Figura N° 4.3: Variación de la densidad con respecto a la temperatura.....	62
Figura N° 4.4: Variación de la viscosidad con respecto a la temperatura.....	63
Figura N° 4.5: Variación de la conductividad con respecto a la temperatura.....	65
Figura N° 4.6: Supuestos para determinar orden de una reacción.....	65
Figura N° 4.7: Reacción de orden cero.....	67
Figura N° 4.8: Reacción de orden uno.....	67
Figura N° 4.9: Reacción de tipo orden dos.....	68

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 2.1: Compilación de las razas de maíz catalogadas por país.....	18
Cuadro N° 2.2: Composición química de almidón de maíz por cada 100g.....	26
Cuadro N° 3.1: Índice de refracción de la solución de glucosa medida en el refractómetro.....	48
Cuadro N° 3.2: Nivel mínimo, central y máximo a la escala natural para el DCCR.....	55
Cuadro N° 3.3: Matriz de delineamiento para hidrolisis acida.....	55
Cuadro N° 4.1: Respuestas de la matriz de consistencia con datos reales y codificados de la hidrólisis ácida.....	57
Cuadro N° 4.2: Coeficientes de correlación para el rendimiento.....	58
Cuadro N° 4.3: Comparación de valores experimentales y previstos según DCCR.....	59
Cuadro N° 4.4: Mediciones de densidad con respecto a la temperatura.....	62

RESUMEN

En el desarrollo del presente trabajo de investigación se evaluó las concentraciones de almidón de maíz y el tiempo de hidrólisis ácida en el rendimiento de etanol. La evaluación fue estadística mediante el software STATISTICA 10.0, utilizando el DCCR donde se determinó que en el proceso de hidrólisis el mayor rendimiento en la producción de etanol fue de 78.1% con una concentración de almidón de 35% y un tiempo de hidrólisis de 35 min. Además se obtiene un menor rendimiento de 54.6 % de producción de etanol a partir de 40% de almidón y un tiempo de hidrólisis de 15 min. En el análisis de varianza (ANOVA) se obtuvo un $R^2=96.938$ y el R ajustado de 94.386, lo que significa no hay mucha variación, concluyendo que estadísticamente hay una significativa y predictiva concordancia en los valores experimentales y los previstos en el modelo. Así mismo las propiedades del etanol tales como la densidad, viscosidad, conductividad térmica se ven afectadas a medida que la temperatura aumenta presentando una pendiente decreciente lo que indica su volatilidad con el incremento de la temperatura. Para determinar el orden de la reacción se trabajó con las tres premisas propuestas por Johntone (1984), en donde se concluye que es de orden cero dado que presenta un coeficiente de correlación de ($R^2 = 0.9828$) siendo el más cercano a 1 en comparación con los otros determinados, lo que significa que hay una mayor congruencia en los datos. En la Determinación del balance de materia en el rendimiento de etanol se parte a partir de la ecuación de Gay Lussac donde nos indica que el rendimiento teórico por cada 100g de glucosa es de 51.1%, en nuestra fase experimental se obtuvo un rendimiento práctico de 39.93 % en conversión de azúcares siendo la eficiencia de 78.14%.

Palabras claves: *Concentración de almidón, tiempo de hidrólisis y rendimiento.*

ABSTRACT.

In the development of the present work, the concentrations of corn starch and the acid hydrolysis time in the ethanol yield were evaluated. The evaluation was statistical using the software STATISTICA 10.0, using the DCCR where it determined that in the hydrolysis process, the highest efficiency in the production of ethane was of 78,1% with a starch concentration of 35% and hydrolysis time of 35 minutes. In addition, a lower yield of 54, 6% of ethanol production is obtained from 40% starch and hydrolysis time of 15 minutes. In the analysis of variance (ANOVA) an $R^2 = 96,938$ and the adjusted R of 94.386 were obtained, which means that there is not much variation, concluding that statistically is a significant and predictive agreement in the experimental values and those predicted in the model. Likewise the properties of the ethanol such as density, viscosity, thermal conductivity are affected as the temperature increases presenting a decreasing slope which indicates its volatility with the increase in temperature. To determine the order of the reaction we worked with the three premises proposed by Johntone (1984), where is concluded that it is zero order since it presents a correlation coefficient of ($R^2 = 0,9828$) being closest to 1en comparison with the other determined, which means that there is a greater congruence in the data. In the Determination of the balance of matter in the ethanol yield, we start from the Gay Lussac equation where it indicates that the theoretical yield per 100g of glucose is of 51,1%, in our experimental phase a practical yield of 39,93% was obtained in sugar conversion, with an efficiency of 78,14%.

Key words: *starch concentration, time of hydrolysis and output.*

INTRODUCCIÓN

Actualmente el biocombustible más importante es el etanol, producto 100% renovable obtenido a partir de cultivos bioenergéticos y biomasa. El etanol carburante es utilizado para oxigenar la gasolina, permitiendo una mejor oxidación de los hidrocarburos y reduciendo las emisiones de monóxido de carbono, compuestos aromáticos y compuestos orgánicos volátiles a la atmósfera. El uso de alcohol etílico como combustible no genera una emisión neta de CO₂ sobre el ambiente debido a que el CO₂ producido en los motores durante la combustión y durante el proceso de obtención del etanol, es nuevamente fijado por la biomasa mediante el proceso de fotosíntesis.

Entre los cultivos bioenergéticos más usadas para la producción de etanol la caña de azúcar es la materia prima más utilizada en países tropicales tales como Brasil e India. En la presente investigación es propuesta la obtención de etanol a partir de la hidrólisis ácida de almidón de maíz como carburante en biocombustibles.

La producción de etanol es un ejemplo de cómo la ciencia, la tecnología, la agricultura y la industria deben trabajar en armonía para transformar un producto agropecuario en un combustible. El proceso de producción de etanol ha sido inmensamente refinado y actualizado en años recientes ganando en eficacia, teniendo variaciones ligeramente para cada uno de los tres usos principales del etanol, bebidas, industrial y combustibles.

La hidrólisis de los materiales ha sido intensamente investigada y desarrollada, la factibilidad económica de estos procedimientos depende principalmente de bajos costos en la materia prima, en energía, operación y bajos costos de inversión. La hidrólisis ácida se ha llevado a escala comercial, para fermentar la glucosa en alcohol. Utilizando esta metodología se han desarrollado procesos biotecnológicos para obtener etanol entre otros. (Ferrer, 2002).

En la producción mundial de etanol, Estados Unidos y Brasil, dominan la producción y el consumo mundial de etanol. EEUU obtiene el etanol del maíz, siendo la caña de azúcar utilizada para la producción de etanol en Brasil. (Maluenda, 2015).

La demanda de etanol en el Perú en el 2013 fue de aproximadamente 390 mil litros al día y la oferta peruana fue de 375 mil litros al día. Es decir, que aun si se hubiera utilizado todo el etanol que se produce en el país; hubiera quedado parte de la demanda insatisfecha. Ahora, no toda la producción nacional de etanol es destinada al mercado interno; esto debido a dos razones. La primera de ellas es que el etanol nacional adquiere un mejor precio en el mercado europeo, por lo que Maple y Caña Brava prefieren colocar sus productos en ese mercado. De ahí que la segunda razón sea que las empresas productoras de gasohol, como Petroperú y Repsol, opten por importar el insumo a menor precio que la oferta nacional. El Perú importa etanol principalmente de Bolivia, Ecuador y México. (ADUANET, 2013).

CAPÍTULO I. ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA.

1.1. Descripción de la realidad problemática.

El agotamiento de recursos no renovables, han puesto en inestabilidad a muchas economías mundiales dependientes del petróleo y sus derivados, debido a que este recurso está escaseando, así como una progresiva contaminación ambiental producida por estos. Esto ha conducido a la búsqueda de materias primas con las cuales se puedan producir recursos renovables y ecológicos, descubriéndose la producción de etanol a partir de almidones y cereales, teniendo como alternativas la producción de este combustible materias como cañas de azúcar, almidón de maíz entre otros productos utilizados a nivel internacional.

La producción de etanol es una de las actividades que más desarrollo ha tenido a lo largo de los últimos años, ofreciéndonos una gama de productos elaborados, y como sustituyente de productos a base de petróleo, siendo algunos de estos productos de mayor importancia como los combustibles y bebidas. Teniendo actualmente una demanda muy alta y exigente, se plantea constantemente la búsqueda de nuevas tecnologías, procesos eficientes, nuevas fuentes de materia para lograr producirlo con la más alta calidad posible y que, sobre todo, satisfagan las necesidades y exigencias del mercado actual.

Se conoce que la producción mayoritaria de etanol a nivel mundial es de caña de azúcar, sin embargo también hay una gran producción de etanol a partir de maíz, por lo cual ambas materias son grandes productoras de etanol a nivel mundial.

Un proceso para la obtención de etanol utilizado en la actualidad es la hidrólisis ácida. Esta se realiza con insumos inorgánicos para acelerar la conversión de almidón a azúcar. Ha sido llevada a escala comercial en USA y otros países de Europa y Asia (Ferrer, 2002), siendo la vía más barata económicamente, utilizando esta metodología se han desarrollado procesos biotecnológicos ya que el producto final es de consumo industrial, tal como, actualmente en todas las industrias se utiliza.

Como se sabe el Perú produce etanol a partir de la caña de azúcar, siendo esta la única materia para la producción de etanol lo que ha ocasionado que muchos cultivos sean remplazados por el sembrío de caña de azúcar. Piura, productor de etanol es una de las

ciudades donde se puede ver reflejada esta realidad en abuso de monocultivo de caña de azúcar para la producción de etanol, poniendo en un posible riesgo la caña de azúcar como materia para consumo (azúcar).

Sabiendo que Piura es productor de maíz, este puede ser una buena alternativa ante la situación descrita. Es por ello que esta investigación, busca como solución la producción de etanol a partir de almidón de maíz mediante la hidrólisis ácida y así contribuir con el medio ambiente y ante una posible amenaza al consumo alimentario.

1.2. Justificación e importancia de la investigación.

La principal materia prima de los combustibles utilizados en la actualidad es el petróleo, lamentablemente la industria petrolera en conjunto con la sobreexplotación de recursos naturales aunado con la contaminación del medio ambiente, ha producido efectos adversos en el equilibrio ecológico, al grado de aumentar considerablemente la temperatura del planeta. Por ello se buscan alternativas que sustituyan a los combustibles fósiles y hacer de esta industria limpia y sustentable

Un tratamiento eficaz debe ser de bajo costo y bajo consumo energético, fácil recuperación y reutilización, además de ser aplicable a diversos materiales con eficiencia y reproducibilidad. Así mismo, debe evitar la degradación o pérdida de carbohidratos o formación de subproductos inhibitorios para las enzimas y microorganismos en los procesos de hidrólisis y fermentación.

En cuanto al tratamiento de los materiales lignocelulósicos, la hidrólisis ácida de los materiales lignocelulósicos ha sido la tecnología más utilizada para la obtención de azúcares reductores, que posteriormente son convertidos a etanol. (Sarrouh et al, 2005).

La hidrólisis ácida consiste en un proceso químico que, mediante el empleo de catalizadores ácidos, transforma las cadenas de polisacáridos que forman la biomasa en sus monómeros elementales (azúcares fermentables o reductores). El grado de degradación de la materia prima depende de la concentración del ácido, la temperatura y el tiempo de hidrólisis. A medida que actúa el ácido, el peso molecular y la viscosidad de los productos decrecen y el poder reductor aumenta. (Ferrer, 2002).

El Perú tiene un buen rendimiento de producción de maíz, como se muestran en los datos siguientes: la producción de maíz amarillo duro alcanzó, en noviembre 2015, el segundo mes con el nivel de producción más alto de ese año (131 mil 404 toneladas) y se incrementó en 25,2%, en comparación con lo registrado en similar mes de 2014; informó el Jefe del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Dr. Aníbal Sánchez Aguilar. Este comportamiento se explicó por la mayor producción en los departamentos de Ica (88,2%), Lima (83,0%), Piura (70,0%), Lambayeque (23,6%), La Libertad (16,1%) y Loreto (5,1%), que en conjunto aportaron el 84,6% de la producción nacional. Asimismo, aumentó en Huancavelica (307,5%), Ucayali (197,7%), Cajamarca (46,9%), Huánuco (26,9%) y Junín (20,1%). (INEI, 2016). Considerando así al Maíz como una importante materia para producir etanol en Piura.

La ejecución de este proyecto puede acarrear beneficios tanto para los agricultores como para la industria. Para el agricultor ya que así podrá incrementar la producción de maíz, pasando solamente de ser productos derivados para alimentos a ser utilizados para la producción de combustibles. La importancia de producir etanol radica en que es un recurso energético, el futuro reemplazante a los derivados del petróleo o materiales fósiles, mostrando una posibilidad de un nuevo combustible que ayude a preservar el medio ambiente y levantar economías mundiales.

Los beneficios que podría tener para la industria son; desarrollar nuevos productos y técnicas para la producción de combustible entre otros, los cuales serían atractivos para el consumidor además de abrir nuevos mercados implantando nuevas líneas de producción y a la vez promoviendo la creación de fuentes de trabajo.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General.

- Determinar el efecto de la cinética de hidrólisis ácida de almidón de maíz (*Zea mays L.*) en el rendimiento para obtención de etanol.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Determinar la concentración adecuada y tiempo de hidrólisis ácida de almidón de maíz (*Zea mays L.*) para la producción de etanol.
- Evaluar las características físicas y químicas del etanol producido.
- Determinar el orden de reacción de la cinética de etanol obtenido por hidrólisis ácida.
- Determinar el balance de materia en el rendimiento de etanol.
- Determinar el costo de obtención de etanol de maíz en comparación con el etanol obtenido de la caña de azúcar.

1.4. Delimitación de la investigación

- Temporal: Junio 2017 - Setiembre 2018.
- Espacial: CPPA (Centro de Procesamiento de Productos Agroindustriales). Laboratorio de Ing. Agroindustrial.
- Economía: Financiamiento del proyecto 4925.00 soles.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Mallaupoma (2014) en su tesis titulada “Efecto del método de hidrólisis en el almidón de papa (*Solanum tuberosum*) para la obtención de alcohol”. Por la universidad Nacional del centro del Perú- Huancayo para optar por el título de ingeniero en industrias alimentarias, concluye lo siguiente, En la primera fase, se preparó tres suspensiones de almidón al 2, 4 y 6 %, las suspensiones de almidón se sometieron a una gelatinización para su posterior hidrólisis. El grado de hidrólisis se cuantificó como mg de glucosa/ml con el método de D.N.S en el espectrofotómetro. En el proceso de hidrólisis ácida se utilizó ácido clorhídrico 1N en una relación de ácido: sustrato (1:4) durante 30, 40, 50 y 60 minutos donde se determinó que el tiempo de hidrólisis y la concentración de almidón influyen estadísticamente en el grado de hidrólisis, lográndose una mayor cantidad de azúcares reductores de 49,71 mg de glucosa/ml utilizando 6 % de almidón y un tiempo de 60 minutos. En la hidrólisis enzimática se utilizó la enzima α -amilasa para la licuefacción en una relación enzima: sustrato de 0,5 y 1,0 % durante los primeros 30 minutos y en la sacarificación se utilizó la enzima glucoamilasa en una relación enzima: sustrato de 0,05 y 0,1 % durante los 40, 50 y 60 minutos, donde las variables concentración de almidón, tiempo de hidrólisis y la relación enzima (α -amilasa y glucoamilasa): sustrato influyen estadísticamente en el grado de hidrólisis, lográndose una mayor cantidad de azúcares reductores de 119,86 mg de glucosa/ml utilizando 6 % de almidón, 0,5 % relación de enzima α -amilasa: sustrato, 0,05 % relación enzima glucoamilasa: sustrato y un tiempo de 50 minutos. En la segunda fase (proceso de fermentación alcohólica) se determinó el efecto del uso de los hidrolizados fermentados con levadura fresca y pie de cuba que se trajo de la Empresa Agraria Azucarera Andahuasi S.A.C en las propiedades fisicoquímicas del alcohol (grado alcohólico °G.L densidad, acidez y test de Barbet).

El alcohol que presentó las mejores características fisicoquímicas fue el obtenido por la fermentación del hidrolizado enzimático con levadura fresca que tiene una media de acidez de 10,5 mg de ácido acético/100 ml, grado alcohólico de 50,50 gol, una densidad de 0,9292 g/ml y un tiempo de decoloración del permanganato de potasio (Test de Barbet) de 22,25 minutos.

Sarkar et al (2012). En las últimas décadas, el excesivo consumo de combustibles fósiles, sobre todo en áreas urbanas, ha tenido como consecuencia el incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) a la atmósfera. La mayor demanda de energía y el progresivo calentamiento del planeta junto con el notable encarecimiento de los precios de petróleo y la dependencia de las importaciones de combustibles fósiles, son las principales causas que han motivado el aumento del uso de energías renovables. Así, la Unión Europea ha desarrollado en los últimos años una política estratégica conjunta en el marco de las energías renovables. La directiva 2009/28/CE establece que, para el año 2020, el 20% del consumo final de energía del conjunto de los Estados debe proceder de fuentes de carácter renovable. El 10% de este consumo renovable debe estar destinado específicamente al sector transporte, por lo que en este escenario los biocombustibles cobran especial importancia como primera alternativa para sustituir a los derivados del petróleo utilizados en automoción.

En octubre de 2012, la Comisión publicó una propuesta con el objetivo de limitar el uso de biocombustibles procedentes de cultivos, que no podrá superar el 5%, para alcanzar la meta del 10% marcada en la directiva.

Espinosa (2013) en su tesis titulada “Obtención de Etanol mediante hidrólisis alcalina, enzimática y fermentación a partir del excedente orgánico del banano variedad musa paradisiaca” por la Universidad Central de Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, para optar el Título de Ingeniero Químico; el cual establece como objetivo general: La búsqueda de una fuente alternativa de energía de gran importancia para el desarrollo energético del Ecuador, mediante la obtención de etanol a partir del excedente orgánico del banano, mediante hidrólisis básica y enzimática y posterior fermentación, debido a que ayudaría a terminar con la dependencia de combustibles fósiles, además aportará a la conservación del medio ambiente, dando una mejor disposición final a desechos orgánicos, generar focos de investigación acerca del tema y fuentes de trabajo asociadas a la temática, lo que justifica completamente el desarrollo de ésta investigación y deja abiertas las puertas para desarrollar investigaciones relacionadas, pero con la gran variedad de biomasa que se genera en la industria y en el diario vivir de la ciudadanía ecuatoriana. Obtención de etanol

a partir del excedente orgánico del banano variedad Musa Paradisiaca, mediante hidrólisis alcalina, hidrólisis enzimática y posterior fermentación.

El residuo biomásico se sometió a hidrólisis alcalina con NaOH a tres concentraciones: 1,5; 2 y 2,5 mol/L, y a tres temperaturas: 50, 70 y 90 °C en un determinado tiempo para provocar la exposición y libre acceso a la celulosa. Para la hidrólisis enzimática que se realiza a continuación se descartaron varias muestras por pérdida excesiva de celulosa y las restantes se hidrolizaron usando enzimas Celulasas a tres concentraciones: 1,5; 2 y 3% p/p y a tres pH: 5; 5,5 y 6. Los azúcares reductores obtenidos se fermentaron usando *Saccharomyces Cerevisiae* para obtener alcohol etílico. Se concluyó que las mejores condiciones corresponden a una concentración de hidróxido de sodio de 2 mol/L, temperatura de 70 °C, concentración de enzima del 2 % y pH 5, a las cuales se obtiene un rendimiento de etanol del 39,36%. Esta investigación fue elegida por estar relacionada con la búsqueda alternativa de una materia para producir etanol, tal como se anuncia en los objetivos de la investigación.

Bellido (2013) presentó su Tesis para obtener el grado de doctor en la universidad de Valladolid departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente de la Escuela de Ingenierías Industriales; el trabajo de investigación se tituló: “Obtención de bioetanol 2G a partir de hidrolizados de paja de trigo. Fermentación de los penta y hexa carbohidratos con *Pichia stipitis*.”, planteó como el objetivo general del presente estudio es incrementar el rendimiento en la producción de etanol de segunda generación a partir de paja de trigo, mediante el empleo de la levadura *Pichia stipitis*, que es capaz de metabolizar tanto pentosas como hexosas y por tanto permite un mayor aprovechamiento de las fracciones celulosa y hemicelulosa presentes en el material lignocelulósicos. Se presenta la caracterización de la materia utilizada, se hace referencia a la cepa del microorganismo, el cultivo y la preparación de los inóculos, la hidrólisis enzimática y la fermentación de la paja de trigo, se exponen también los métodos analíticos utilizados en la determinación de los diferentes parámetros a analizar: materia prima, concentración de azúcares, ácidos, alcoholes y productos de degradación.

Obteniendo de este proceso como producto bioetanol, esta información fue seleccionada dado que se relaciona con un proceso similar para obtener un combustible ecológico, tal como está especificado en el título y objetivos de esta investigación.

Usucachi (2011) presentó su Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería química y Textil; el trabajo de investigación se tituló: “Proceso de Obtención de Etanol a partir de papa peruana.”, planteó como el objetivo general: el estudio de los diferentes parámetros que afectan al proceso de producción de etanol. Para ello se centró en un periodo de experimentación, donde a partir de los diferentes experimentos realizados se comparan los resultados con las predicciones teóricas previamente consultadas. Otra meta es el diseño de una planta de producción de etanol a base de los resultados obtenidos, y como objetivos intrínsecos se hace una introducción al mundo de la biotecnología, la microbiología y biocombustibles. Se realizaron diferentes experimentos para determinar el parámetro correcto que afecta la producción de etanol mediante una reacción enzimática con alfa amilasa y glucoamilasa responsables de la hidrólisis del almidón, los azúcares obtenidos fueron fermentados usando la levadura del proceso Pisco-UNI teniendo un rendimiento de etanol de 69 litros al 96% v/v por tonelada de papa. Esta investigación fue elegida por estar relacionada en búsqueda de los diferentes parámetros para obtener el mayor rendimiento de etanol.

Oliva (2014) en su tesis titulada “Posible proceso productivo de Etanol con residuos de banano y sus impactos en el Valle del Chira” por la Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas para optar el Título de Ingeniería Industrial y de Sistemas; El objetivo principal de la tesis, es describir las fases de un posible proceso de producción de etanol, a partir de los residuos de la cosecha del banano de las dos centrales de productores agrícolas más grandes del valle del Chira y la evaluación de la viabilidad, analizando la disponibilidad de materia prima, disponibilidad de terrenos, disponibilidad de tecnología y aceptación de los productores de banano.

Para ello, se realizó un cálculo de la cantidad de residuos generados por CEPIBO y REPEBAN promediando los resultados obtenidos del pesaje de los residuos de

plantas de banano. Además se realizaron entrevistas a 20 presidentes de las asociaciones que forman las dos centrales de bananeros y se entrevistó a profesionales dedicados al rubro del banano. En el primer capítulo, se presenta el marco teórico de los biocombustibles, poniendo énfasis en el bioetanol y en los procesos más usados para su obtención. Además, se expone el desarrollo de la industria del bioetanol en el Perú y en los principales países productores; y los avances en el uso de material lignocelulósico como materia prima de biocombustibles. En el segundo capítulo, se realiza una recopilación de datos del valle del Chira y de sus principales sectores económicos. También se plasma el proceso productivo del banano, desde la siembra hasta la cosecha; se hace un análisis del mercado de este producto y se calcula la cantidad de residuos generados luego de la cosecha del fruto, a partir de datos proporcionados por CEPIBO y REPEBAN. En el tercer capítulo, se describen las distintas alternativas que se tienen en cada fase del proceso de conversión de los residuos a etanol y se muestra la tecnología usada a nivel experimental para la obtención del biocombustible. En el cuarto y último capítulo se presenta información sobre la viabilidad de una posible planta productora, las ventajas y desventajas del proyecto y algunos impactos que podría traer consigo.

Estudios realizados por Domínguez, et al, (2011). La hidrólisis ácida de los lignocelulósicos ha sido la tecnología más usada para la obtención de azúcares reductores (fermentables), que posteriormente son convertidos a bioetanol. En este trabajo se realiza a escala laboratorio el proceso de obtención de azúcares reductores por medio de la hidrólisis ácida del bagazo de caña, sin pre tratamiento, utilizando ácido sulfúrico diluido en condiciones de ebullición a reflujo y a presión atmosférica con el propósito de alcanzar una elevada conversión del bagazo a azúcares reductores (AR). En el estudio se analiza la influencia de tres variables independientes: tiempo de reacción, temperatura sobre el proceso y concentración del ácido sulfúrico. La determinación cuantitativa de azúcares reductores se realiza por espectrofotometría UV-Vis por el método del ácido 3,5 dinitrosalisílico (DNS), usando glucosa como estándar. Así mismo, se desarrolla un estudio cinético para encontrar las mejores condiciones de la hidrólisis, basado en dos reacciones consecutivas de pseudo primer orden para la sacarificación promedio. El modelo obtenido permite describir el proceso de producción de azúcares reductores a partir del bagazo sin pre tratamiento empleando H_2SO_4 .

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Maíz. (*Zea mays*)

Serratos (2009). Menciona que:

- Nombre Común: Maíz Amiláceo.
- Nombre Científico: *Zea mays* L. ssp amiláceo
- Familia: Gramínea.
- Principales Variedades: Pardo, Cuzco, San Jerónimo, Morocho, Pisccorunto, Huancavelicano, Chullpi, Confite morocho, San Jerónimo Huancavelicano, Kculli, Granada, Confite Puntiaquito
- Periodo Vegetativo: En grano seco 180 - 240 días.

2.2.1.1. Descripción del Producto:

Este grupo de maíces tienen una gran variabilidad en el color del grano, en la textura, en su composición, en su apariencia y en su grado de madurez al momento de ser cosechado, además se caracterizan por tener un grano harinoso, blando y suave.

2.2.1.2. Propiedades y Usos:

El maíz amiláceo es uno de los principales alimentos de los habitantes de la sierra del Perú y uno de los cultivos de mayor importancia económica en la sierra después de la papa; su producción se consume como grano verde bajo las formas de choclo, y como grano seco como cancha, mote, harina pre cocida, y bebidas entre otras formas de uso. Asimismo, la producción de maíz para consumo en forma de choclo y cancha, son las más importantes fuentes de ingresos para los productores de este tipo de maíz en la sierra del país. Con respecto a su valor nutricional, el grano de maíz es un fruto rico en nutrientes digestibles totales, considerado como un alimento eminentemente energético al igual que el arroz, centeno y la cebada, desde el punto de vista nutricional, superior a muchos cereales excepto en su contenido de proteínas. El maíz es el cereal que más importancia ha tenido en varios sectores de la economía a escala mundial durante el siglo XX y en los inicios del XXI. En los países industrializados, el maíz se utiliza principalmente como forraje, materia

prima para la producción de alimentos procesados y, recientemente, para la producción de etanol. El origen del maíz no ha sido sencillo de rastrear. La mazorca es única entre los cereales y de ahí que la dilucidación de su origen haya sido un gran desafío científico. Por otra parte, el registro fósil de los restos más antiguos del maíz, encontrados en diversas partes de México, demuestran un gran cambio morfológico desde la pequeña espiga femenina (“mazorquita”) del teocintle, con unos cuantos granos de fácil dispersión, y la espiga femenina (mazorca) del maíz con una gran cantidad de granos fuertemente adheridos al “olote” (raquis).

2.2.1.3. Planta de Maíz.

Austrias et al, (2008), hace referencia, el maíz es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal. El origen y la evolución del maíz es un misterio, porque ha llegado a nosotros altamente evolucionado, sin que se conozcan formas intermedias. Los granos de maíz están constituidos principalmente de tres partes: la cascarilla, el endospermo y el germen. La cascarilla o pericarpio es la piel externa o cubierta del grano, que sirve como elemento protector, como se muestra en la figura N°2.1. El endospermo, es la reserva energética del grano y ocupa hasta el 80% del peso del grano. Contiene aproximadamente el 90% de almidón y el 9% de proteína, y pequeñas cantidades de aceites, minerales y elementos traza. El germen contiene una pequeña planta en miniatura, además de grandes cantidades de energía en forma de aceite, que tiene la función de nutrir a la planta cuando comienza el período de crecimiento, así como otras muchas sustancias necesarias durante el proceso de germinación y desarrollo de la planta.

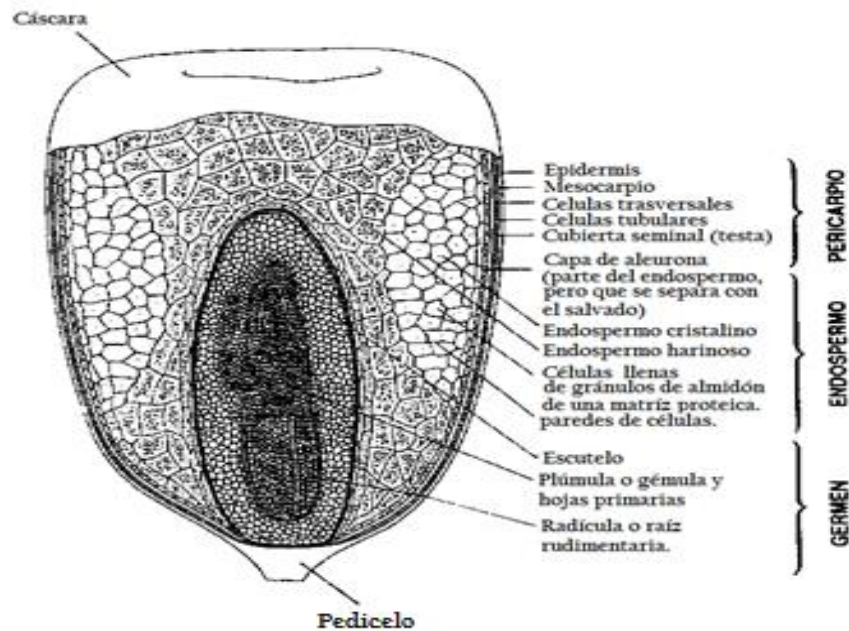


Figura 2.1. Estructura del maíz

Fuente: Grano de maíz y estructura (Serratos, 2009).

2.2.1.4. Secuencia Morfológica de la posible Evolución de la Mazorca y el Maíz.

En el primer cuarto del siglo XX, previo a las primeras exploraciones arqueológicas relacionadas con el maíz, se iniciaron estudios de la genética celular del maíz y del teocintle. Entre 1930 y 1932, Bárbara McClintock fundamentaría las bases de la investigación que la llevaría a obtener el Premio Nobel, 50 años después, por sus estudios y descubrimientos con la genética del maíz y la metodología para el análisis de sus cromosomas. Como se muestra en la figura N° 2.2 la evolución genética de la mazorca. Serratos (2009).



Figura 2.2. Secuencia morfológica de la posible evolución de la mazorca del teocintle y el maíz.

Fuente: Serratos (2009) y de fuentes diversas.

2.2.1.5. Clasificación Taxonómica

De acuerdo con la clasificación efectuada por OECD (Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo). En la clasificación para el maíz del hemisferio occidental, los géneros *Zea* y *Tripsacum* son incluidos en la Tribu Maydeae. El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen. Pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas, y es la única especie cultivada de este género. Otras especies del género *Zea*, comúnmente llamadas teocintle y las del género *Tripsacum*, conocidas como arrocillo o maicillo, son formas salvajes parientes de *Zea mays*. Son clasificadas como del Nuevo Mundo, porque su centro de origen está en América. En un primer momento, los taxónomos clasificaron los géneros *Zea* y *Euchlaena* al cual pertenecía el teocintle como dos separados. Actualmente, en base a la compatibilidad para la hibridación entre esos grupos de plantas y a estudios citogenéticas, es generalmente aceptado que ambas pertenecen al género *Zea*. (Acosta, 2009).

2.2.1.6. Diversidad de Maíz en el Continente Americano

El cuadro N° 2.1 contiene la nomenclatura que se encuentra en los folletos de las razas del maíz de América y que se ha conservado hasta el presente en los bancos de germoplasma. Este cuadro contiene la nomenclatura que se encuentra en los folletos de las razas del maíz de América. (Serratos, 2009)

Cuadro N° 2.1. Compilación de las razas de maíz catalogadas por país.

<p>MÉXICO</p> <p>(65:59 cotejadas; 6 imprecisas)</p>	<p>Ancho, Apachito, Arrocillo amarillo, Arrocillo, Azul, Blandito, Blando Sonora, Bofo, Bolta, Cacahuancintle, Carmen, Chapalote, Clavillo, Comiteco, Conejo, Conico, Conico Norteño, Coscomatepec, Cristalino Chihuahua, Complejo Serrano Jalisto, Cubano Amarillo, Dulce de Jalisco, Dulcillo Noroeste, Dzit Bacal, Elotes Conicos, Elotes Occidentales, Elotero de Sinaloa, fasciado Gordo, Harinoso, Harinoso de Ocho, Jala, Lady Finger, Matiz Dulce, Maizon, Mushito, Nal Tel, Nal Tel de Altura, Olotillo, Oloton, Onaveño, Palomero de chihuahua, Palomero Toluqueño, Pepitilla, Raton, Reventador, San Juan Serrano de Jalisco, Tabilla, Tabilla de Ocho, Tabloncillo, Tabloncillo Pela, Tehua, Tepecintle, Tunicata, Tuxpeño, Vandeño, Xmejenal, Zamorano Amarillo, Zapatote Chico, Zapote Grande-</p>
<p>PARAGUAY</p> <p>(10)</p>	<p>Avati Mita, Avati Morote, Avati Ti, Avati Guapi, Opaco, Pichinga Redondo, Sape Moroti, Sape Puya, Tupi Morote, Tupi Puya.</p>
<p>PERÚ (66)</p>	<p>Ajaleado, Alazan, Amarillo Huancabamba, Ancashino, Arequipeño, Arizona, Mochero, Blanco Ayabaca, Cabaña, Capio,</p>

	Chancayano, Chancayano Amarillo, Chancayano Blanco, Chancanayo Pintado, Chaparreño, Chimlos, Chullpi, Chuncho, Colorado, Confite, Introducido, Confite Morocho, Confite Puneño, Confite Puntigudo, Coruca, Cubano Amarillo, Piricinco, Cuban Yellow Dent, Cuzco, Cuzco Cristalino Amarillo, Cuzco Gigante, Enano, Granada, Híbrido Amarillo Duro, Huchano, Huancavelicano, Huarmaca, Huayleño, Jora, Kculi, Maraño, Mochero, Mochero Pagladroga, Mococho Cajabambino, Morocho Canteño, Morocho, Opaco, Paladroga Pardo, Pardo Amarillo, Paro, Perla, Perilla, Princinco, Piscorunto, Rabo de Zorro, Renda, Sabanero, San Geronimo Huancavelicano, Sarco, Shajatu, San Geronimo, Tambopateño, Tumbesino, Tucpeño, Uchuquilla.
URUGUAY (8)	Cateto Sulino, Cristal, Dento Blanco, Dento Rugoso, Moroti Amarillo, Moroti Blanco, Pisingallo, Semidentado Rugoso.
ESTADOS UNIDOS (16)	Argentino, Canilla, Cariaco, Confite Morocho, Com Belt Dent, Creole, Early, Caribbean, Haitian White, Northern Flint, Northern Flour, Palomero, Toluqueño, Saint Croix, Southern Dent, Tuson, White PopCorn.
VENEZUELA (19)	Araguito, Cacao, Canilla Venezolano, Canaco, Chande, Chirimido, Comun, Costeño, Cuba Amarilla, Guarbero, Huevito, Negrito, Pira, Pollo, Puya, Puya Grande, Sabanero, Tuson, Tucpeño.

Fuente: Serratos (2009).

2.2.1.7. Composición Química del grano de Maíz

Téllez (2014), menciona que la “composición química del grano de maíz y, por ende, su valor nutritivo depende del tipo de grano y de forma más específica por el genotipo de la variedad, el ambiente y las condiciones de siembra. De forma general, podemos decir que, se destaca por su riqueza en hidratos de carbono proporcionada por su abundante almidón. Esto da como consecuencia, ser un alimento capaz de calmar el hambre durante mucho rato sin tener que recurrir a otros alimentos ricos en grasas y menos saludables para el organismo por contener un aporte calórico superior. El maíz posee una proporción elevada de proteínas (10%), localizadas principalmente en el germen del grano; sin embargo, ésta proteína no resulta ser de muy buena calidad. Tomando en cuenta que la calidad nutritiva de un alimento está definida por la calidad de sus proteínas y ésta, a su vez, la establece el contenido de los llamados aminoácidos esenciales; tenemos que, de acuerdo a un patrón de aminoácidos esenciales, el maíz presenta baja proporción en triptófano, lisina y metionina. Otro aspecto sobresaliente de la calidad de la proteína del maíz es su alto contenido de leucina (la que neutraliza la absorción de niacina) y su bajo contenido en isoleucina. Este desbalance provoca que el valor biológico de la proteína, disminuya. El valor biológico de una proteína se determina midiendo el nitrógeno ingerido menos el excretado en heces y orina. Por otra parte, el grano de maíz contiene alrededor del 5% de lípidos, localizados principalmente en el germen. El aceite de maíz, como la mayoría de los aceites de origen vegetal, contiene bajos niveles de ácidos grasos saturados (palmítico y esteárico) en comparación con los ácidos grasos no saturados (oleico y linoleico), los cuales representan la mayoría del total de los lípidos contenidos en el grano de maíz. Al respecto cabe mencionar que, altos contenidos de grasas saturadas se han relacionado a problemas cardiovasculares”.

El maíz presenta una gran riqueza en fibra soluble. La que, además de ayudar a combatir la obesidad, tiene efecto sobre: el control del colesterol, prevención del estreñimiento, protección con respecto a cierto tipo de cánceres, etc. Es una de las plantas con mayor riqueza en Vitaminas, dentro de las que podemos citar: Vitamina B1 o Tiamina, Vitamina B7 o Biotina, Niacina, Ácido Fólico o Vitamina B9 e Inositol. Comenzando por la vitamina B1 o tiamina que es necesaria para que el organismo pueda transformar los

alimentos en energía y para que el cerebro pueda absorber glucosa para su buen funcionamiento, la falta de esta vitamina producirá en las personas síntomas de depresión, cansancio, estrés, falta de vigor o poca capacidad mental. La Vitamina B7 o Biotina, es necesaria, entre otras funciones, para la absorción de las proteínas y para la buena salud del cabello y de la piel. La Niacina, mejora la circulación y reduce la hipertensión. El contenido de niacina en el grano de maíz es muy alto en comparación con los requerimientos mínimos, pero no está presente en forma disponible para ser asimilado por el cuerpo humano”. (Serratos, 2009)

Cuando el grano está seco, contiene cantidades importantes de Vitamina A en forma de beta-caroteno, que tiene acciones antioxidantes participando en la prevención de numerosas enfermedades degenerativas y desintoxicantes del organismo, así como en la prevención de enfermedades cardiovasculares. En cuanto a su contenido de minerales, el maíz posee porcentajes bastante elevados de potasio, magnesio, hierro, fósforo y zinc. Es especialmente rico en manganeso y selenio, el primero ayuda al crecimiento de los huesos y a la formación de los músculos; y el segundo a prevenir el cáncer de mama, de próstata o de pulmones y previene la aparición de la caspa; mientras que el zinc es un mineral que ayuda a la salud del sistema inmunitario, a la formación de los huesos y dientes y al incremento de la potencia y el deseo sexual. El germen del grano contiene el 78% de los minerales, probablemente porque son esenciales durante el crecimiento del embrión, de los cuales el componente inorgánico más abundante es el fósforo, principalmente en las sales de potasio y magnesio del ácido fítico. Este compuesto, que llega a representar hasta el 1% de la masa del grano, interfiere en la absorción intestinal de muchos minerales esenciales”. (Téllez, 2014).

2.2.1.8. Producción de Maíz en Perú

La producción de maíz amarillo duro en Enero del 2015 llegó a 108 mil toneladas, cifra mayor en 10,8% (11 mil toneladas), respecto del que se obtuvo durante el mismo mes del 2014, que fue de 97 mil toneladas. Los departamentos que incrementaron su producción fueron: Lima (19%), Ica (26%) y Lambayeque (39%); en el primer caso, debido a la mayor superficie sembrada por expectativas de lograr buenos precios; en el segundo caso, por sustitución de áreas de algodón; y, en el caso de Lambayeque, por la

disponibilidad de agua durante el inicio de la campaña de siembras. El precio promedio en chacra del maíz amarillo duro en el mes de enero del presente año llegó a S/. 0,90 el kg), mostrando una ligera baja frente al alcanzado en el mes anterior (S/. 0,93); y una alza de 10% respecto del que registró en enero del año anterior (S/. 0,82), estos datos se muestran en la figura N°2.3. (Sistema integrado de estadística Agraria, 2015).

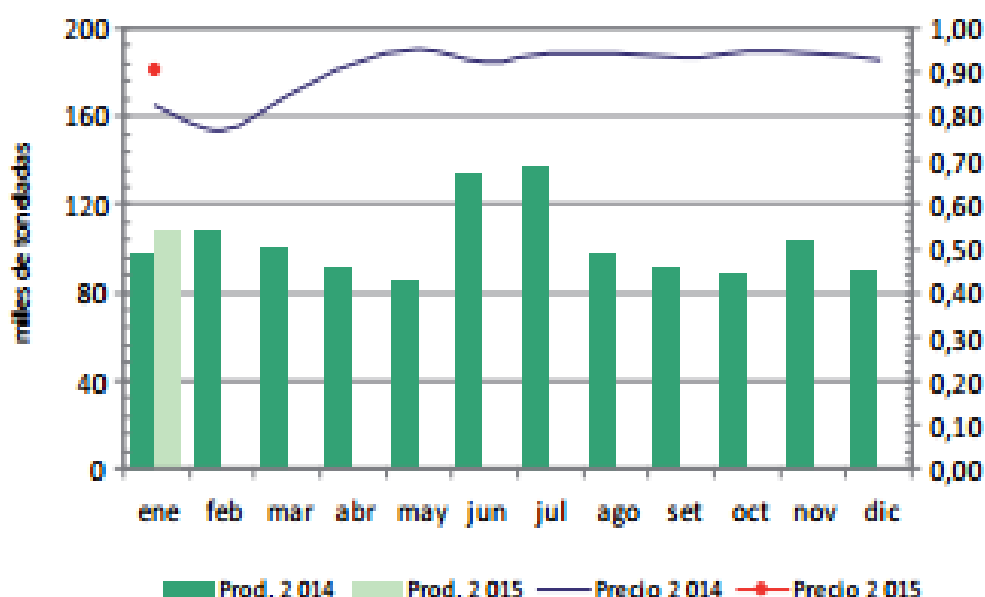


Figura 2.3. Producción y precio de maíz amarillo duro.

Fuente: Sistema integrado de estadística Agraria (SIEA), 2015.

2.2.2. Almidón de Maíz

Desde el punto de vista químico el almidón es un polisacárido, el resultado de unir moléculas de glucosa formando largas cadenas, aunque pueden aparecer otros constituyentes en cantidades mínimas. El almidón es una sustancia que se obtiene exclusivamente de los vegetales que lo sintetizan a partir del dióxido de carbono que tomando de la atmósfera y del agua que toman del suelo. (Cardona, 2005)

El almidón es el principal constituyente del maíz (*Zea mays* L.) y las propiedades fisicoquímicas y funcionales de este polisacárido están estrechamente relacionadas con su estructura. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. Estas moléculas se organizan en anillos concéntricos para originar la estructura granular. La distribución de la amilosa dentro de los anillos concéntricos

difiere entre el centro y la periferia del gránulo, ya que sólo ocupa los lugares disponibles que deja la amilopectina después de sintetizarse (Tetlow et al, 2004).

El almidón de maíz es obtenido a través del proceso de producción de molienda húmeda del grano de maíz, lavado y secado en condiciones determinantes que permite mantener sus condiciones naturales. Este no posee ninguna modificación química y está libre de aditivos. Se presenta en forma de polvo fino blanco, posee alta movilidad, está libre de impurezas, es inoloro y libre de partículas negras. Las características del almidón de maíz, lo convierten en un ingrediente que provee propiedades funcionales especiales a una variada gama de productos y además mejora los procesos de fabricación de los alimentos. Los almidones de maíz, poseen un sin número de aplicaciones y usos, los cuales permiten mejorar el valor nutricional, textura, apariencia, color, sabor, viscosidad, rendimiento, ayudan a mantener la frescura, los cuales disfrutamos todos los días en productos como cerveza, refrescos, jugos, lácteos, carnes, aderezos, salsas, ariquepes, helados, confites (dulces blandos y duros), Snake, cereales para el desayuno, compotas y alimentos para bebés, coladas, galletas, coberturas, mezclas de panadería, polvos para hornear, sopas y alimentos instantáneos, edulcorantes, así como también en la industria farmacéutica, cosmética, papel corrugado, adhesivos, detergentes, textil, petrolera, biocombustibles, biopolímeros, entre otros. (Medina et al, 2014)

Los avances tecnológicos han hecho posible la producción de etanol a partir de almidón de maíz, gracias a los procesos de molienda seca del maíz, Se han reducido en forma considerable los requerimientos de energía, se incorporaron sofisticados procesos de automatización, las enzimas disminuyeron su costo a su vez que vieron incrementado su poder de conversión, logrando con ello menores tiempos de procesamiento, el desarrollo de cedazos moleculares, todos factores que han contribuido a disminuir los costos y aumentar el volumen de etanol obtenido. (Vergagni, 2004)

2.2.2.1. Amilosa.

La amilosa está constituida por cadenas formadas por unidades de D-glucosa condensadas se presentan como anillos de piranosa unidos en enlaces de α (1-4). Se supone que la fracción amilosa es completamente lineal. (Whistler y Bemiller, 1984)

En los gránulos de almidón, la amilosa se presenta bajo la forma cristalina. Los enlaces hidrogeno de la amilosa son responsables de la adsorción de agua y de la formación de geles. (Cheftel J. y Cheftel, 1996).

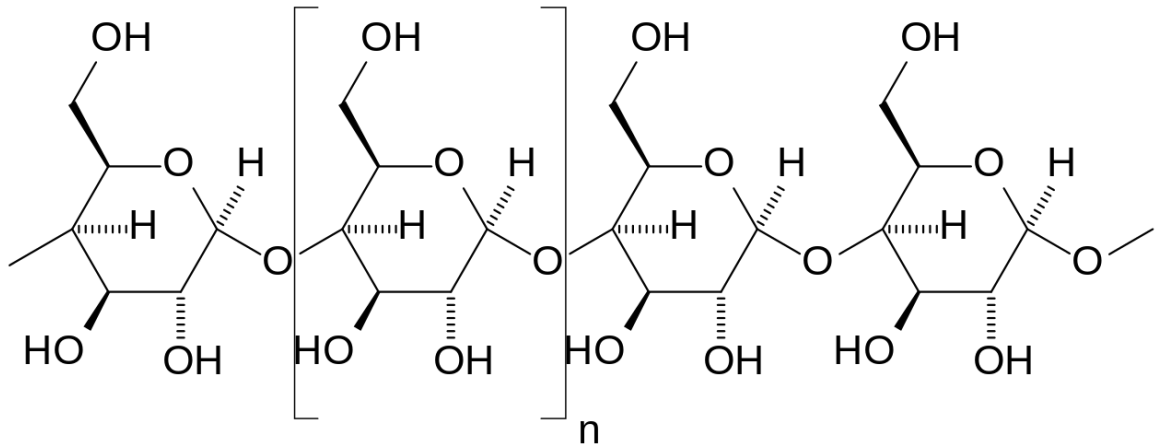


Figura 2.4: Estructura química de la amilosa

Fuente: Cheftel J. y Cheftel, 1996

2.2.2.2. Amilopectina

La amilopectina es una molécula muy grande y altamente ramificada, con enlaces de ramificación que constituyen alrededor del 4-5% del total de enlaces. La mayoría de los 38 enlaces entre las unidades de D-Glucosa de la amilopectina son del tipo α (1-4) como en la amilosa, además 4-5% de las unidades de glucosa están unidas por enlaces α (1-6) y dan una estructura ramificada creciente. (Fennema, 2010)

Durante la cocción, la amilopectina absorbe mucha agua y es en gran parte responsable de la hinchazón de los gránulos de almidón. (Cheftel J. y Cheftel, 1996)

Generalmente los almidones contienen de 17 a 27% de amilosa y el resto es amilopectina. La amilopectina presenta un grado de cristalinidad muy inferior al de la amilosa. (Cheftel J. y Cheftel, 1996).

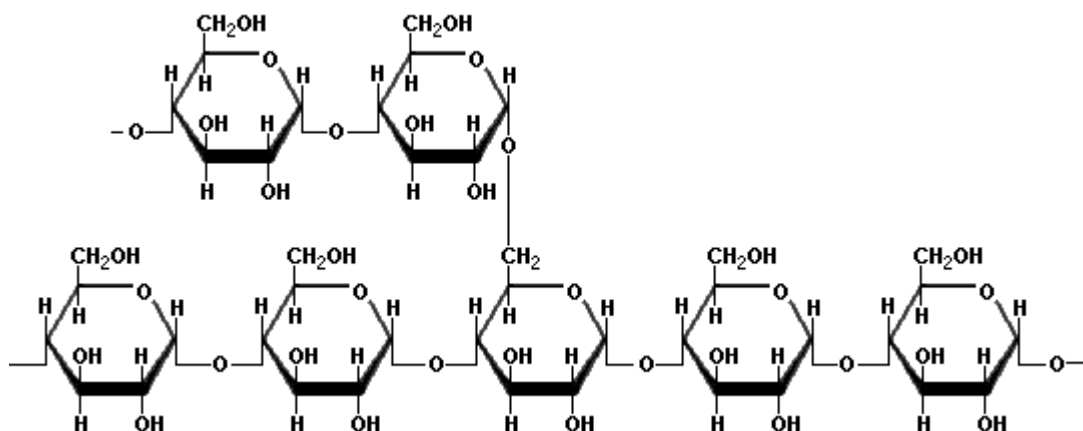


Figura 2.5: Estructura de la amilopectina

Fuente: Cheftel J. y Cheftel, 1996.

2.2.2.3. Composición química del almidón

El agua normal de hidratación en los almidones se localiza en el carbono 8 de los residuos de glucosa y su composición química depende de la fuente y el procedimiento de 39 obtenciones, del proceso de secado y de la humedad relativa del medio. Según Karkaias y Qui, (2004), el contenido de humedad en los gránulos de almidón va de un 10 al 12% en cereales y 14-19% en almidones de tubérculos y raíces. Un contenido superior de humedad puede ocasionar daño microbiano y por tanto, el deterioro en la calidad del polímero. Todos los almidones contienen pequeñas cantidades de proteínas, lípidos, fosforo y trazas de materiales inorgánicos. (Moorthy, 2002).

Los lípidos presentes en los gránulos de almidón se encuentran formando complejos de inclusión con las moléculas de amilosa: dichos complejos son insolubles en agua fría pero se disocian al calentarse a temperaturas superiores a los 125°C. El contenido de lípidos en almidones de tubérculos como la papa, el camote y la tapioca es muy 40 pequeño (<0.1%) comparado con los almidones provenientes de cereales (maíz, trigo, arroz, cebada y sorgo): los cuales contienen de 0. 6 a 1.0% de lípidos. (Tester et al, 2004).

Cuadro N° 2.2. Composición química de almidón de maíz por cada 100g.

Nutriente	Cantidad	Nutriente	Cantidad
Energía	344	Fibra (g)	0.9
Proteína	0.26	Calcio (mg)	2
Grasa total (g)	0.05	Hierro (mg)	0.47
Colesterol (mg)	0	Yodo (ug)	0.50
Glúcidos	91.27	Vitamina A(mg)	0

Fuente: Base de datos internacional de composición de alimentos. Encontrado en:
www.composicionnutricional.com/alimentos/ALMIDON-DE-MAÍZ-1.

2.2.3. Producción de Etanol

En las figuras 2. 6 y 2.7 se muestran que, EEUU y Brasil, dominan la producción y el consumo mundial de etanol. EEUU obtiene el etanol del maíz, siendo la caña de azúcar utilizada para la producción de etanol en Brasil. Lejos de la producción y consumo de estos países, la UE ocuparía el tercer puesto en producción y consumo de etanol. (Maluenda, 2015)

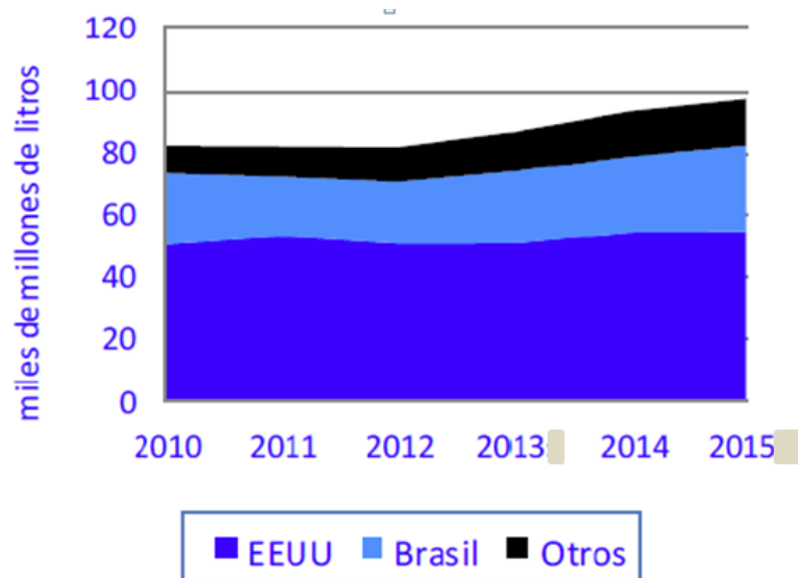


Figura 2.6. Evolución de la producción mundial de los años 2010/2015

Fuente: Organización Internacional del azúcar (OIA), 2015

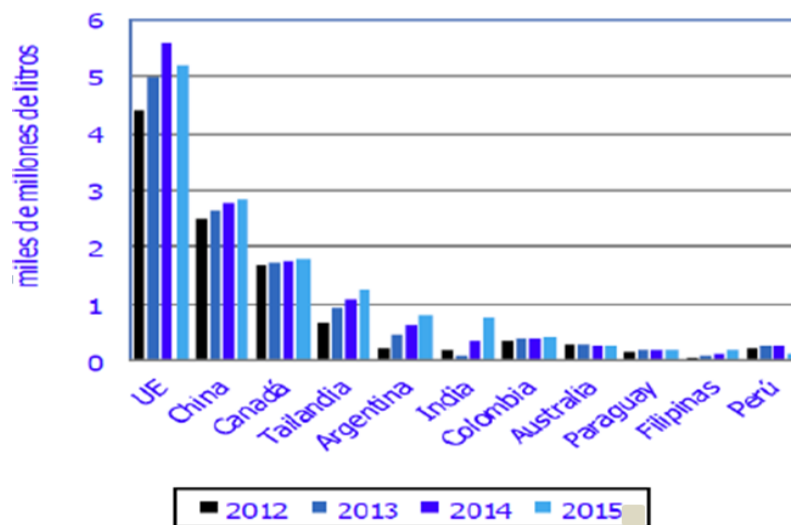


Figura 2.7: Evolución de la producción mundial por países 2010/2015.

Fuente: Organización Internacional del azúcar (OIA), 2015

La producción prevista de etanol carburante en 2015 alcanzaría valores record de 97.000 millones de litros, de los cuales 54.500 millones de litros (56,2%) corresponderían a EEUU y 27.800 millones de litros (28,6%) a Brasil. El conjunto de ambos países constituyen el 85% de la producción mundial. El consumo mundial de etanol llegaría a 96.030 millones de l, siendo EEUU el primer país consumidor con 51.500 millones de litros (53,6%), seguido de Brasil con 28.100 millones de litros (29,2%). El consumo de ambos países constituye el 83% del consumo mundial, siendo utilizado prácticamente como mezclas de gasolina en vehículos Flex fuel. La producción de etanol en EEUU, ha experimentado un aumento importante desde 2014 a pesar de las incertidumbres vinculadas al programa de los estándares de combustibles renovables (RFS) y la eliminación de las tasas fiscales que hasta el 2011 gozaban las mezcladoras de gasolinas. La producción de etanol para 2015 es llegar a 54.500 millones de litros procedente del maíz, volumen próximo al límite establecido en RFS para 2015 de 56.780 millones de litros de biocombustible convencional (maíz). (Maluenda, 2015).

2.2.3.1. Materias para la Producción de Etanol

Como consecuencia de las actuales crisis energética y económica generalizadas, y en consonancia con las políticas ambientalistas en todo el mundo, se ha ido imponiendo cada vez más la sustitución de parte del combustible automotor por etanol anhidro (1,2). En las condiciones actuales, la crisis energética ha llevado a muchos países al incremento de su producción de etanol vía fermentativa para sustituir 10 % de combustible fósil por etanol en el transporte automotor. Así, los planes diarios de producción se incrementan de manera significativa a todo lo ancho del planeta. Con estas escalas de producción, es natural que exista preocupación en cuanto a las tremendas cantidades de materia prima necesarias. (Otero et al, 2005). Principales materias para la producción de etanol:

2.2.3.2. Procesos de Obtención de Etanol

El proceso de obtención de etanol a partir de caña de azúcar comprende la extracción del jugo de caña (rico en azúcares) y su acondicionamiento para hacerlo más asimilable por las levaduras durante la fermentación. Del caldo resultante de la fermentación debe separarse la biomasa, para dar paso a la concentración del etanol

mediante diferentes operaciones unitarias y a su posterior deshidratación, forma en que es utilizado como aditivo oxigenante. Para el proceso de obtención de etanol a partir de maíz es necesario hidrolizar las cadenas de amilasa y amilopectina presentes en el almidón en azúcares apropiados para la fermentación. La degradación del almidón se lleva a cabo por procesos enzimáticos después de una etapa de gelatinización donde se solubiliza el almidón con el fin de hacerlo más accesible a las amilasas. El jarabe de glucosa resultante es el punto de partida para la fermentación alcohólica donde se obtiene una solución acuosa de etanol que debe ser enviada a la etapa de recuperación de producto, tal como en el caso de la caña de azúcar. Este proceso es demostrado en la figura N° 2.8. (Cardona et al, 2005).

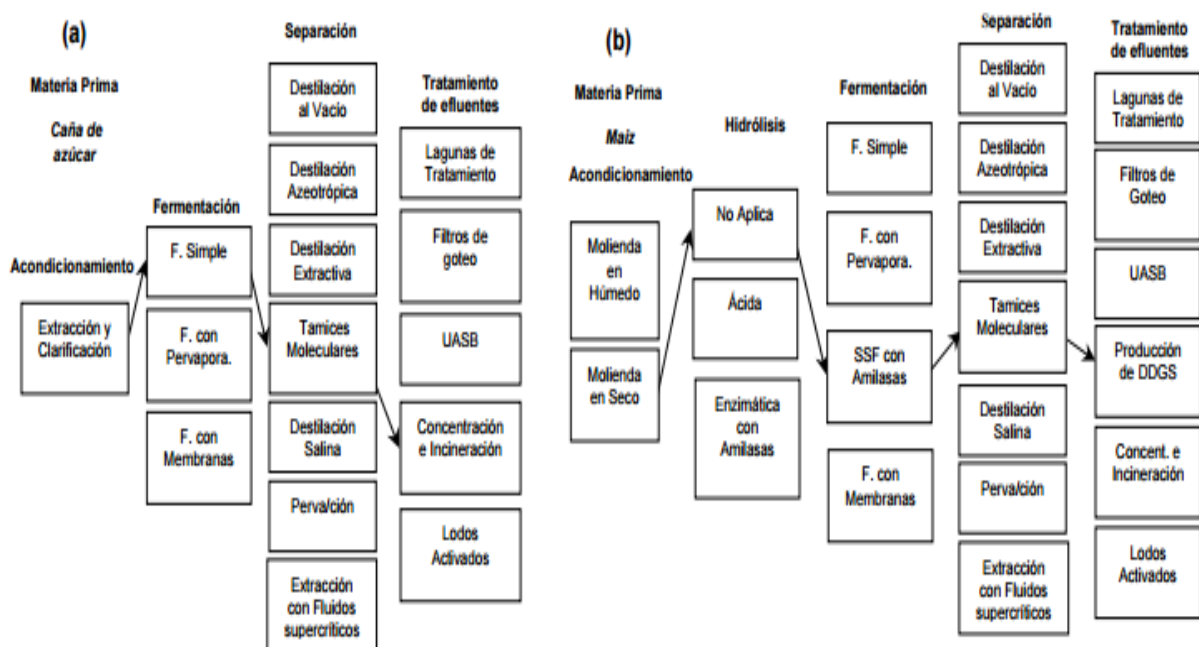


Figura 2.8: Esquema para la producción de etanol carburante: a) caña de azúcar, b) etanol

Fuente: Cardona, *et al*, 2005.

La producción de etanol a partir de caña de azúcar y almidón de maíz puede describirse como un proceso compuesto de cinco etapas principales: Acondicionamiento de la materia prima, hidrólisis, fermentación, separación y deshidratación, y tratamiento de efluentes.

En el proceso de la caña de azúcar el jugo de caña obtenido se somete a un proceso de clarificación en el que se le agrega óxido de calcio y una pequeña porción de ácido sulfúrico con el fin de disminuir el pH a 4,5 y provocar la hidrólisis de la sacarosa en hexosas. En el recipiente clarificador se precipita un lodo, que debe ser retirado y enviado a un filtro rotatorio al vacío. De este filtro se obtiene una torta conocida como cachaza y un filtrado que es retornado al recipiente de clarificación. Finalmente el jugo proveniente de la clarificación es esterilizado a 105°C y enviado a la fermentación, a la cual debe ingresar con un contenido en azúcares entre 130-180 g/L. (Cardona et al, 2005).

En el proceso del maíz para la obtención de etanol, el grano molido se le debe agregar agua caliente con el fin de obtener una mezcla con no más de un 40% en sólidos, apta para la licuefacción. Dos procesos se llevan a cabo en una misma unidad: la sacarificación de las dextrinas para obtener glucosa y la fermentación de la glucosa en etanol y dióxido de carbono, principalmente. La sacarificación es posible gracias a la acción de la enzima glucoamilasa que es alimentada continuamente al reactor. La fermentación se lleva a cabo mediante la levadura *Saccharomyces*. (Cardona, et al, 2005).

2.2.4. Métodos de hidrólisis de almidón de maíz

2.2.4.1. Hidrólisis Ácida

La hidrólisis ácida es un proceso en el que un ácido prótico se utiliza para catalizar la escisión de un enlace químico a través de una reacción de sustitución nucleófila, con la adición de agua. Un ejemplo de este tipo de reacción es la conversión de celulosa o de almidón en glucosa. Para el caso de los ésteres y amidas, se puede definir reacción de sustitución nucleofílica de acilo. La hidrólisis ácida de los lignocelulósicos ha sido la tecnología más usada para la obtención de azúcares reductores (fermentables), que posteriormente son convertidos a bioetanol. El grado de degradación del bagazo depende de la concentración del ácido y el tiempo de hidrólisis. A medida que actúa el ácido, el peso molecular y la viscosidad de los productos decrecen y el poder reductor aumenta (Domínguez et al, 2011).

2.2.4.2. Procesos de Hidrólisis ácida de Almidón de Maíz.

2.2.4.2.1. Gelatinización

Se conoce como gelatinización al proceso donde los gránulos de almidón que son insolubles en agua fría debido a que su estructura es altamente organizada, se calientan (60-70°C) y empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas que son menos organizadas y las más accesibles. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el granulo empieza a hincharse y aumentar de volumen. Este fenómeno puede ser observado al microscopio. Al llegar a cierta temperatura, los gránulos alcanzan un volumen máximo y pierde tanto su patrón de difracción de rayos X como la birrefringencia. El rango de temperatura en el que tiene lugar el hinchamiento de todos los gránulos se conoce como rango de gelatinización y es característico de la variedad particular de almidón que se está investigando. Al producirse el hinchamiento de los gránulos, hay también una extracción de la amilosa. Esta amilosa liberada queda en dispersión coloidal donde los gránulos intactos están en suspensión. Si se continúa administrando calor a los gránulos hinchados, estos se romperán parcialmente y la amilosa y amilopectina se dispersarán en el seno de la disolución. Al final de este proceso se genera una pasta o gel en la que existen cadenas de amilosa altamente hidratadas que rodean a los agregados, también hidratados, de los restos de los gránulos. (Reyna et al, 2004).

2.2.4.2.2. Sacarificación

En esta etapa se produce la liberación de azúcares simples que provienen del material lignocelulósicos degradado por enzimas específicas para este propósito. Las enzimas involucradas en este proceso son principalmente las endoglucanasas, exoglucanasas y β -glucosidasas, que trabajan sinérgicamente en la liberación de glucosa. Las endoglucanasas atacan sitios internos de las regiones de baja cristalinidad de la fibra de celulosa para transformarla en cadenas de extremos libres. Las exoglucanasas atacan los extremos libres, removiendo unidades de moléculas de celobiosa, las cuales son transformadas en glucosa por la acción de las β -glucosidasas. (Reyna et al, 2004).

2.2.4.2.3. Licuefacción

En este proceso, la solución de alta concentración de almidón, hasta un 30 %, es calentada para gelatinizarlo, es decir para romper puentes de hidrógeno de las regiones cristalinas y conseguir un hinchamiento de los gránulos de almidón por absorción de agua, estado en el que se tornan susceptibles el ataque mecánico químico y biológico. (Quintero, et al, 1998).

2.2.4.2.4. Fermentación

La fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico en el cual intervienen microorganismos, estos transforman los azúcares presentes en algunos alimentos en alcohol, dióxido de carbono, y energía. El proceso de fermentación es utilizado para la fabricación de bebidas alcohólicas tales como cerveza, vino, sidra, cava, sake, entre otras, así como biocombustibles. (Contreras, 2014).

2.2.4.2.5. Levaduras

Las levaduras son hongos que forman sobre los medios de cultivo colonias pastosas, constituidas en su mayor parte por células aisladas que suelen ser esféricas, ovoideas, elipsoides o alargadas. Unas pocas presentan hifas. Las dimensiones pueden oscilar de 1 a 9 μm de ancho y 2 a más de 20 μm de longitud según la especie, nutrición, edad y otros factores. Algunos hongos fitopatógenos forman colonias levaduriforme en cultivos axénicos y varios patógenos de animales. (Peña, et al, 2008).

2.2.4.2.6. Destilación

Proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación. El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles. En la evaporación y en el secado, normalmente el objetivo es obtener el componente menos volátil; el componente más volátil, casi siempre agua, se desecha. Sin embargo, la finalidad principal

de la destilación es obtener el componente más volátil en forma pura. (Cardona, et al, 2005).

2.2.5. Proceso de producción de alcohol

2.2.5.1. Microorganismo *Saccharomyces cerevisiae*

La levadura *Saccharomyces cerevisiae* muestra cinco fases de crecimiento bien definidas cuando se cultiva en medios líquidos con glucosa como fuente de carbono: lag, logarítmica, cambio diáuxico, postdiáuxica y estacionaria. La fase lag es un periodo de adaptación en el cual la célula se prepara para dividirse. Durante la fase logarítmica las células alcanzan su máxima velocidad de duplicación y llevan a cabo un metabolismo fermentativo (aún en condiciones aerobias) del que se produce etanol. Al disminuir la concentración de glucosa, las células atraviesan por el cambio diáuxico, un periodo breve de tiempo en el cual no hay división, y la célula cambia de un metabolismo fermentativo a uno respiratorio. En la fase postdiáuxica las células usan como fuente de carbono el etanol producido durante la fase logarítmica e incrementan su resistencia al estrés gradualmente; en tanto que la fase estacionaria se presenta cuando los nutrientes del medio se han agotado y no hay división celular. En esta fase, las células acumulan carbohidratos de reserva como trehalosa y glucógeno, alcanzan el máximo nivel de resistencia a estrés y su pared celular se vuelve más gruesa y resistente a la digestión por liticasa (Folch-Mallol et al., 2004).

La levadura *Saccharomyces cerevisiae* puede fermentar la glucosa a etanol. En condiciones anaerobias ésta es la única manera de producir energía. En la presencia de oxígeno, tiene lugar la respiración. Sin embargo, se puede producir fermentación alcohólica incluso en condiciones aerobias (van Dijken y Scheffers, 1986) si la concentración de glucosa sobrepasa un valor límite crítico (Verduyn et al., 1984). Esto es lo que se conoce como efecto Crabtree. La formación aeróbica de etanol a partir de glucosa en *Saccharomyces cerevisiae* se produce de diferentes maneras en los tres tipos de técnicas de cultivo: discontinuo (batch), semicontinuo (fed- batch) y continuo (chemostat). En cultivos tipo batch, primero se consume el azúcar con la consiguiente formación de etanol seguido de una corta fase lag y consumo posterior de etanol (Barford, 1981), esto se conoce como crecimiento diáuxico. La fase lag se debe a la inducción de enzimas del ciclo glioxilato y de la gluconeogénesis que se requieren en la síntesis de compuestos C3-C6 a partir del C2

del sustrato etanol (Haarasilta y Oura, 1975). Un proceso batch se caracteriza por una baja densidad máxima celular debido a la inhibición por etanol y por un bajo rendimiento en biomasa. Por esta razón se utiliza ocasionalmente en procesos industriales.

2.2.5.2. Proceso tecnológico para la producción de alcohol y levadura *Saccharomyces cerevisiae*

Según García et al (2008), La levadura de recuperación de cerveza la componen las células inviables deshidratadas de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* o *S. ovarum* en algunos casos. Esta levadura históricamente ha sido utilizada en la producción de alcohol con resultados satisfactorios.

Para García et al (2008), el proceso de producción de alcohol por vía fermentativa a través de la conversión de hexosas en etanol según la siguiente ecuación:



La levadura, además de ser el elemento que cataliza la reacción, constituye un producto inevitable de la misma, pudiéndose disminuir su reproducción, pero no eliminarla totalmente.

La miel final es convertida de forma directa en hexosas, por la acción de la enzima invertasa, producida por la propia levadura en el transcurso del proceso.

La miel final de caña se diluye con agua, se ajusta el pH con ácido sulfúrico y se le añade nitrógeno y fósforo en forma de sales solubles.

2.2.5.3. Factores a tener en cuenta para el crecimiento y desarrollo de la levadura:

Para Estevéz, et al (2015) considera los siguientes factores a tener en cuenta:

Presión osmótica: la nutrición de la levadura es un proceso puramente osmótico, es importante evitar medios hipertónicos o hipotónicos para evitar la plasmoptisis y plasmólisis. El estrés osmótico puede causar una disminución en el volumen celular, afecta además, la velocidad de fermentación, así como la viabilidad celular

Temperatura: las altas temperaturas ocasionan una disminución de la biomasa, producto de un descenso en el contenido de proteínas, RNA; DNA y aminoácidos libres e induce a la rigidez de la membrana celular. Temperaturas muy bajas provocan un estado de latencia en la célula, deteniendo su desarrollo.

Desecación: es uno de los principales agentes que inhiben las actividades y desarrollo de los microorganismos.

Luz: en general la luz es perjudicial para los microorganismos que carecen de clorofila, o cualquier otro pigmento que les permita usar la energía de las radiaciones en el proceso de fotosíntesis.

PH: el pH óptimo en el cual se desarrollan mejor los microorganismos, está entre 4 y 5. Las levaduras tienen la ventaja de soportar, medios más ácidos, que otros microorganismos, lo que es aprovechado en los procesos industriales para mantener el medio controlado de bacterias que puedan competir por el sustrato.

Alcohol: el efecto del etanol en la célula es una combinación de inhibición del crecimiento y disminución de la viabilidad, puede actuar como inhibidor de la fermentación.

2.2.5.4. Influencia de las condiciones de cultivo en la producción de alcohol y levadura

Según Barrera, et al (2011) menciona que las diferentes respuestas que se han observado en el metabolismo de la levadura *S. cerevisiae*, cuando se cultiva bajo distintas concentraciones de glucosa y oxígeno disuelto, pueden ser explicadas por la saturación de la oxidación del NADH a nivel de la cadena respiratoria, e influyen en la acumulación de compuestos de reserva en la levadura.

Estévez, et al (2008), afirmó, que cuando se utiliza la fermentación continua, se elimina el llenado y vaciado de los fermentadores y también la necesidad de controladores, equipos de enfriamiento, etc., que son instalados solamente en los fermentadores donde hay necesidad de hacerlo, eliminando con esto la ociosidad y el costo de inversión, mientras

que el riesgo de contaminación se incrementa, por lo que se requiere mayor esterilidad en el proceso.

2.2.5.5. Factores de influencia en las cinéticas de fermentación alcohólica

La cinética de la fermentación alcohólica está sometida a una serie de factores que es necesario tener en cuenta a la hora de tener que corregir esta, y son los siguientes según Francisco Agenjo Director Técnico Biocor Europe S.L. :

Cepa de levadura. – Desde la generalización de la siembra de levaduras secas activas seleccionadas, la frecuencia de paradas de fermentación ha disminuido considerablemente porque los criterios de buena fermentación están entre los más importantes en la selección de una cepa de levaduras. Sin embargo, antes de elegir una cepa de levadura es necesario conocer si está adaptada al mosto en el que se va a sembrar.

Temperatura de fermentación. – La temperatura tiene una influencia directa sobre la cinética de fermentación, así los años más cálidos se dan a menudo las fermentaciones más rápidas. Sin embargo, la rapidez no implica la ausencia de problemas. Actualmente el progreso de los equipos de frío y regulación de temperatura nos permite disminuir la frecuencia de estos problemas fermentativos.

Turbidez del mosto. – Por debajo de 50 NTU el riesgo de paradas de fermentación es alto. Las burbas tienen un doble papel: efecto soporte y sobre todo efecto nutritivo lipídico (aporta ácidos grasos de cadena larga, Feuillat 1994).

Contenido de vitaminas en mostos. – Especialmente importante es la tiamina. El contenido en el racimo es en general suficiente para la multiplicación de las levaduras, pero habitualmente la tiamina es consumida por las levaduras indígenas en el curso de las fases pre fermentativas. Las levaduras del tipo Kloeckera consumen la tiamina más rápido que la Saccharomyces, lo que puede hacer que los mostos tengan carencia en el momento de la siembra de las levaduras. En estos casos el número de levaduras viables al final de la multiplicación disminuye fuertemente. Además, la tiamina es en parte inactivada por el

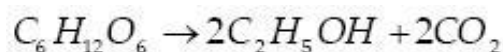
SO₂, su adición debe hacerse por tanto algunas horas después del sulfitado y justo en el momento de la siembra

Importante es la presencia en los mostos de otras vitaminas como ácido pantoténico, piridoxina, biotina, etc., ya que están implicados en el metabolismo del H₂S y síntesis de metionina y cisteína.

Oxígeno. – Interviene en la síntesis de esteroides y ácidos grasos insaturados de la membrana citoplasmática de la levadura; estos componentes son responsables de la resistencia al alcohol de las levaduras al final de la fermentación. Las levaduras necesitan una cantidad entre 5 y 10 mg/l de oxígeno.

Inhibidores. – Además del alcohol la levadura produce ácidos grasos tóxicos (C₆, C₈, C₁₀) que pueden ser eliminados por añadiendo cortezas de levaduras (Lafon-Lafourcade, 1982). Los residuos del tratamiento de la viña pueden ser también responsables de problemas fermentativos (fase de latencia larga, producción de acidez volátil).

2.2.5.6. La fermentación alcohólica: según H.J. Vázquez es una bioreacción que permite degradar azúcares en alcohol y dióxido de carbono. La conversión se representa mediante la ecuación:



Las principales responsables de esta transformación son las levaduras. La *Saccharomyces cerevisiae*, es la especie de levadura usada con más frecuencia. Por supuesto que existen estudios para producir alcohol con otros hongos y bacterias, como la *Zymomonas mobilis*, pero la explotación a nivel industrial es mínimo.

A pesar de parecer, a nivel estequiométrico, una transformación simple, la secuencia de transformaciones para degradar la glucosa hasta dos moléculas de alcohol y dos moléculas de bióxido de carbono es un proceso muy complejo, pues al mismo tiempo la levadura utiliza la glucosa y nutrientes adicionales para reproducirse. Para evaluar esta

transformación, se usa el rendimiento biomasa/producto y el rendimiento producto/substrato.

– Rendimiento biomasa/substrato ($Y_{x/s}$): es la cantidad de levadura producida por cantidad de substrato consumido.

– Rendimiento substrato/producto ($Y_{p/s}$): es la cantidad de producto sintetizado por cantidad de substrato consumido.

El rendimiento teórico estequiométrico para la transformación de glucosa en etanol es de 0.511 g de etanol y 0.489 g de CO_2 por 1 g de glucosa. Este valor fue cuantificado por Gay Lussac. En la realidad es difícil lograr este rendimiento, porque como se señaló anteriormente, la levadura utiliza la glucosa para la producción de otros metabolitos. El rendimiento experimental varía entre 90% y 95% del teórico, es decir, de 0.469 a 0.485 g/g. Los rendimientos en la industria varían entre 87 y 93% del rendimiento teórico (Boudarel, 1984). Otro parámetro importante es la productividad (g/h/l), la cual se define como la cantidad de etanol producido por unidad de tiempo y de volumen.

2.2.5.7. Tipos de fermentación alcohólica: Según Justin O. Naway, 1989 existen dos tipos de fermentación alcohólicas las cuales se citan a continuación:

2.2.5.7.1. Fermentación industrial

La fermentación etílica ha sufrido algunas transformaciones con el objeto de aumentar la eficiencia química del proceso. Una de las mejoras más estudiadas en la industria es la posibilidad de realizar la fermentación alcohólica continua con el objeto de obtener mayores cantidades de etanol. Hoy en día el procesamiento industrial de algunas bebidas alcohólicas como puede ser el vino o la cerveza se realizan en ambientes controlados capaces de ofrecer a un ritmo apropiado de estos productos de consumo al mercado. Esta vía ofrece una amplia materia de investigación en temas de eficiencia de bioreactores, empleando para ello teoría de sistemas de control (el problema desde el punto de vista de ingeniería de sistemas es altamente no lineal y oscilatorio). Para Ramírez, et al (1990) menciona que otra vía de investigación acerca de la mejora de los procesos

industriales es la mejora de las cepas de levaduras (como puede ser la *Zymomonas Mobilis* que ofrece ventajas en los procesos continuos de fermentación aeróbica), permitiendo la convivencia de una mayor densidad de las mismas durante la producción. Según Beltrán (2002), los métodos de fermentación continua se empezaron a patentar en la década de los 50s y desde entonces han hecho que la industria de las bebidas alcohólicas haya experimentado un crecimiento apreciable. Una de las características de la fermentación etílica industrial es la selección adecuada de las levaduras a inocular en el proceso de fermentación con el objeto de aumentar el rendimiento de la producción.

La fermentación industrial típica es esencialmente un proceso que se produce en un recipiente llamado fermentador o en general, biorreactor, mediante el cual determinados sustratos que componen el medio de cultivo (levaduras) son transformadas mediante la reacción microbiana en metabolitos y biomasa. Estos contenedores son herméticos y permiten retirar mediante canalizaciones apropiadas el dióxido de carbono resultante. Durante el proceso los microorganismos van aumentando de concentración en el transcurso de la reacción al mismo tiempo que el medio va modificando sus propiedades químicas y se forman productos nuevos como consecuencia de las reacciones anabólicas.

2.2.5.7.2. Fermentaciones naturales

La fermentación alcohólica con la emisión de ciertas cantidades de etanol se produce de forma espontánea en la naturaleza siempre que se encuentre un azúcar y una atmósfera pobre de oxígeno, es por esta razón que ocurre espontáneamente en el interior de algunas frutas que se puede decir sufren un proceso de maduración anaeróbica, tal y como puede ser el melón curado que muestra olor a alcohol, o los mismos cocos. Un aspecto de la fermentación alcohólica natural o espontánea se puede dar en ciertas frutas como el de la vid, en una fase inicial en la que las uvas se incluyen en las cubas madre de acero inoxidable y se produce la denominada fermentación tumultuosa encargada de hacer aparecer las primeras trazas de etanol.

Una de las fermentaciones naturales más habituales en las frutas y que se emplea en los procesos de vinificación de algunos vinos es la denominada Maceración

carbónica. Este tipo de fermentación causa a veces intoxicaciones etílicas a los insectos que se alimentan de las frutas maduras.

2.2.6. Destilación

La destilación es una técnica que nos permite separar mezclas, comúnmente líquidas, de sustancias que tienen distintos puntos de ebullición. Cuanto mayor sea la diferencia entre los puntos de ebullición de las sustancias de la mezcla, más eficaz será la separación de sus componentes; es decir, los componentes se obtendrán con un mayor grado de pureza.

La técnica consiste en calentar la mezcla hasta que ésta entra en ebullición. En este momento los vapores en equilibrio con el líquido se enriquecen en el componente de la mezcla más volátil (el de menor punto de ebullición). A continuación los vapores se dirigen hacia un condensador que los enfría y los pasa a estado líquido. El líquido destilado tendrá la misma composición que los vapores y; por lo tanto, con esta sencilla operación habremos conseguido enriquecer el líquido destilado en el componente más volátil (Figura 2.9). Por consiguiente, la mezcla que quede en el matraz de destilación se habrá enriquecido en el componente menos volátil.

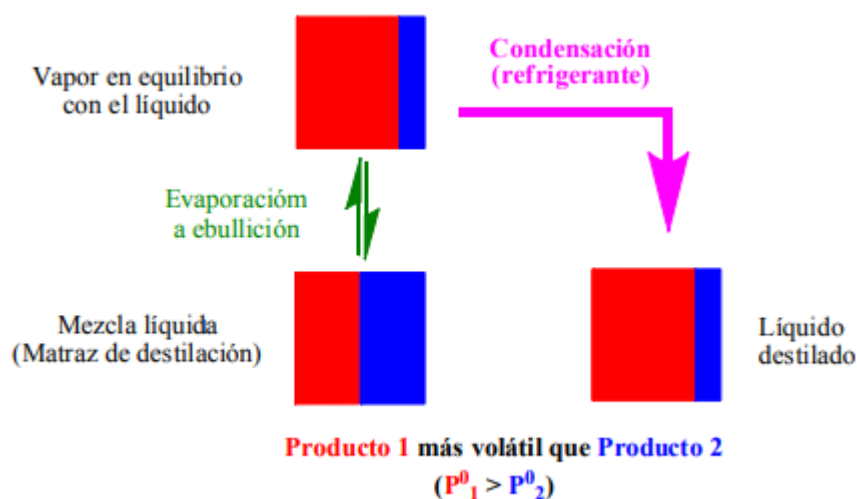


Figura 2.9. Procesos de destilación

2.2.7. Alcohol: Según Unión Internacional de Química Pura y Aplicadas (IUPAC) se define como aquellos compuestos químicos orgánicos que contienen un

grupo hidroxilo (-OH) en sustitución de un átomo de hidrógeno, de un alcano, enlazado de forma covalente a un átomo de carbono, grupo carbinol (C-OH). Además este carbono debe estar saturado, es decir, debe tener solo enlaces sencillos a ciertos átomos (átomos adyacentes); esto diferencia a los alcoholes de los fenoles.

Si contienen varios grupos hidroxilos se denominan polialcoholes. Los alcoholes pueden ser primarios (grupo hidróxido ubicado en un carbono que a su vez está enlazado a un solo carbono), alcoholes secundarios (grupo hidróxido ubicado en un carbono que a su vez está enlazado a dos carbonos) o alcoholes terciarios (grupo hidróxido ubicado en un carbono que a su vez está enlazado a tres carbonos).

Los alcoholes forman una amplia clase de diversos compuestos: son muy comunes en la naturaleza y a menudo tienen funciones importantes en los organismos. Los alcoholes son compuestos que pueden llegar a jugar un papel importante en la síntesis orgánica, al tener una serie de propiedades químicas únicas. En la sociedad humana, los alcoholes son productos comerciales con numerosas aplicaciones, tanto en la industria como en las actividades cotidianas; el etanol, un alcohol, lo contienen numerosas bebidas.

2.2.7.1 Algunas propiedades fisicoquímicas para el alcohol:

a. Acidez: Según Acevedo (2005), La acidez volátil se refiere principalmente a la presencia de ácido acético, ácido propiónico, ácido valérico, ácido isovalérico, ácido isobutírico y ácido butírico. Los ácidos son tóxicos para la levadura, disminuyen su actividad y pueden causar su muerte. Un alto contenido de estos ácidos incrementa el tiempo de fermentación, y genera subproductos por las reacciones colaterales con el azúcar, disminuyendo la eficiencia de la fermentación. Adicionalmente, el incremento en acidez volátil es un indicador de la presencia de bacterias en la fermentación.

b. Grado Gay-Lussac (°G.L): Los grados Gay-Lussac es la medida de alcohol contenida en volumen, es decir, la concentración de alcohol contenida en una bebida. Debido a sus propiedades para disolver otras sustancias químicas, el alcohol etílico es utilizado como materia prima en diversos productos tales como perfumes, drogas, plásticos y licores. Los grados Gay-Lussac sirven para indicar el contenido de alcohol en una sustancia expresado en volumen.

2.3. Glosario de términos básicos

Almidón: El Almidón es un polisacárido presente en forma de alimento nutritivo en muchas plantas, especialmente patatas y cereales. El Almidón está compuesto por moléculas encadenadas de Glucosa, relativamente fáciles de romper con la intervención de un ácido o enzima. El Almidón es la materia prima de los carbohidratos empleados en suplementos de uso deportivo o nutricional.

Almidón hidrolizado: Almidón degradado. Los catalizadores para la degradación son los ácidos o las enzimas.

Amilopectina: Parte encadenada de un almidón.

Amilosa: Cadena molecular fija de un almidón.

Carbohidratos: Los Carbohidratos, abreviadamente CH, son casi todos los elementos nutritivos capaces de aportar energía. Los más conocidos son el azúcar, el almidón y la fibra.

Carbohidratos simples: Cadenas cortas de carbohidratos, por ejemplo, mono y disacáridos.

Disacáridos: Tipo de azúcares consistente en dos monosacáridos, por ejemplo, Sacarosa, Maltosa y Lactosa.

Fructuosa: Monosacárido también conocido como “azúcar de la fruta” o Levulosa. Aparece en dos plantas. Se usa en los alimentos para diabéticos con la denominación Fructosa. Se convierte en el hígado y por ello no necesita insulina para su transporte hasta la célula, a diferencia de la glucosa.

Glucosa: También llamado Dextrosa, la Glucosa es un monosacárido. El azúcar tradicional o Sacarosa es una combinación de una Glucosa y una Fructosa. El monosacárido Glucosa es el azúcar más importante en sangre. La Glucosa es asimismo elemento fundamental de las cadenas de polisacáridos.

Adsorción: La adsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material, en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen.

En química, la adsorción de una sustancia es su acumulación en una determinada superficie interfacial entre dos fases. El resultado es la formación de una película líquida o gaseosa en la superficie de un cuerpo sólido o líquido.

Balance de masas: Contabilidad de los pesos de los materiales que entran y salen de una unidad de procesamiento.

Contaminante: Un constituyente de un material o residuo que se sabe o sospecha que es agente de riesgo.

Contaminación: Presencia de materias no deseables en la materia prima o producto.

Costos ambientales: Riesgos económicos intangibles de un proyecto de cierta envergadura. La economía tradicional ha ignorado tanto estos costos, como los sociales. Muchos proyectos ejecutados sin tomar en consideración estos costos producen impactos ambientales.

Diagrama de flujo: Diagrama en donde se muestra un conjunto de operaciones y procesos unitarios, en instalaciones y operaciones manuales para conseguir un objetivo.

Economía de la funcionalidad: En una Empresa es dar énfasis a los servicios por encima del género, es decir en vez de considerar a los productos como puntos finales en sí mismos, es verlos como proporcionadores de funciones a los usuarios terminales. Los productos representan un medio para servir una función particular al consumidor.

Energía: Toda causa capaz de transformarse en trabajo mecánico.

Energía no renovable: Es la energía proveniente de combustibles fósiles y nucleares. Aportan el mayor porcentaje para la producción de energía eléctrica mundial, aceleran el efecto invernadero y el cambio climático global.

Fermentación: Proceso biológico mediante el cual una sustancia se transforma en otra u otras distintas como consecuencia de la actividad de algunos microorganismos.

Fermentación Alcohólica: O fermentación alcohólico-pirúvica. La que realizan varias especies de levaduras que transforman los azúcares en alcohol, anhídrido carbónico, glicerina y otro elevado número de sustancias.

Sacarificación: Este proceso consiste en la liberación de los azúcares constituyentes de los polímeros que componen la biomasa.

Destilación: Este proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.

El procedimiento experimental se desarrolló en el laboratorio de Centro de Procesamiento de productos Agroindustriales de la escuela profesional de Ing. Agroindustrial de la Universidad Nacional de Piura.

3.1. Materiales

3.1.1. Materia Prima

Almidón de maíz adquirido en el centro de abastos de la ciudad de Piura.

3.1.2. Materiales biológicos.

Cepa: *Saccharomyces Cerevisiae*. CECT-1319; obtenida del laboratorio multifuncional de la facultad de ciencias agropecuarias de la Universidad Nacional de Trujillo con la característica de flocular una vez que ha finalizado la cinética de producción de etanol.

3.1.3. Reactivos.

- Ácido clorhídrico.
- Azul de metileno de leofler.
- Hidróxido de sodio 0.1 N.
- Extracto de malta.

3.1.4. Material de laboratorio.

- Picnómetros.
- Balones de 500 y 1000ml.
- Embudos de vidrio.
- Pipetas de 5 y 10ml.
- Probetas de 100ml.

- Termómetro.
- Mechero.
- Soportes de pinzas de metal.
- Encendedor.
- Vasos de precipitación de 250 y 500ml.
- Matraces Erlenmeyer de 50 y 100ml.
- Papel wattman N°40.

3.1.5. Equipos

- Cocina eléctrica.
- Balanza digital.
- Microscopio óptico.
- Refrigerador.
- Autoclave

3.2. Método de análisis cualitativo

3.2.1. Método yodométrico para la determinación cualitativa del almidón en la hidrólisis

Para identificar al almidón y dextrinas se realiza la prueba del yodo o método yodométrico usando una disolución de yodo molecular (I₂) y yoduro de potasio (KI) en agua destilada denominada solución de lugol.

El lugol reacciona con almidón produciendo un color púrpura profundo, pero no reacciona con los azúcares simples como la glucosa, esta propiedad sirve para medir cualitativamente el avance de la hidrólisis mediante una disminución de la coloración hasta llegar al final de la hidrólisis en donde ya no hay cambio de color.

3.2.2. Método de refractometría para la determinación de la concentración de azúcares reductores

La determinación de la concentración de azúcares reductores (glucosa) se efectúa utilizando el equipo refractómetro que mide la cantidad de sólidos solubles en una solución azucarada.

3.2.2.1 Obtención de la recta de calibración del índice de refracción vs. Concentración de azúcares reductores.

Diluyendo glucosa anhidra en agua, se prepararon por triplicado 05 soluciones patrón de 0, 5, 10, 15, 20 y 25 (g/100 ml), a las cuales se les midió la cantidad de azúcares reductores usando un refractómetro. Los datos de índice de refracción vs. Concentración de glucosa se muestran en el cuadro N° 3.1 y se grafican en la figura 3.1 con lo cual se obtiene una correlación lineal.

Los datos obtenidos en el cuadro 2 se ajustaron a una correlación lineal cuya ecuación y coeficiente de correlación están dados por las relaciones

$$Y = 0,0013 X + 1,3269 \text{ y } R_2 = 0,9761.$$

Dónde:

Y= índice de refracción

X = concentración de glucosa de la muestra (g/100 ml)

R = coeficiente de correlación

Cuadro N° 3.1. Índice de refracción de la solución de glucosa medida en el refractómetro.

Concentración de glucosa (g/100ml)	Índice de refracción
5	1,3325
10	1,3395
15	1,3464
20	1,3546
25	1,3567

Elaboración propia.

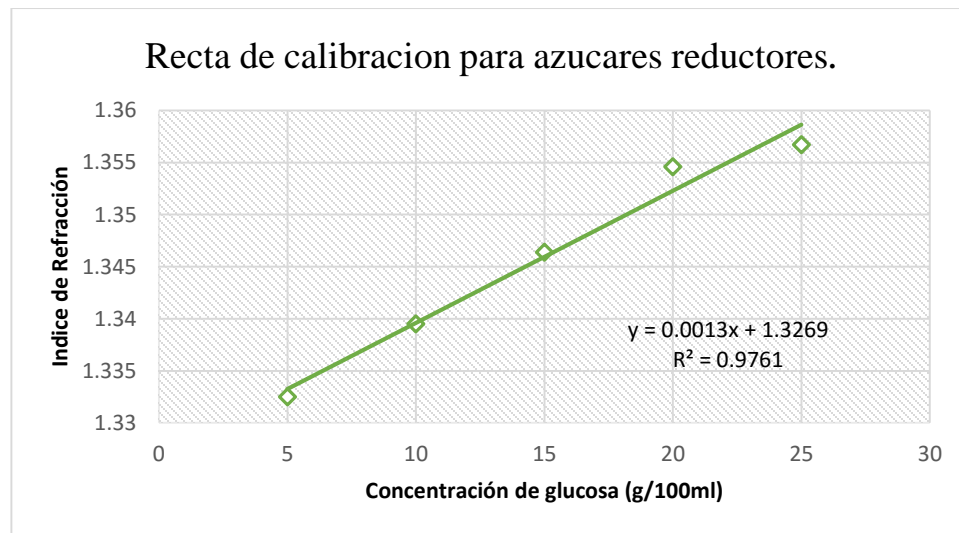


Figura 3.1. Recta de calibración para la determinación de azúcares reductores usando refractómetro

Elaboración Propia.

3.2.3. Hidrólisis ácida.

Para la hidrólisis ácida, se trabajó con concentraciones iniciales de 15%, 20%, 25%, 35% y 45% a tiempos de 15-25-35-45-55 minutos, se seleccionaron los tiempos mencionados con fines experimentales y tomando en cuenta referencias bibliográficas; se realizó esta experimentación utilizando como reactivo HCL a una concentración de 37%, una vez que transcurrió la etapa de hidrólisis, se procedió a filtrar para eliminar los residuos, para adicionar levadura *Saccharomyces Cerevisiae* y empuce el proceso de fermentación y finalmente se procedió a destilar el producto haciendo uso de un equipo destilador por arrastre de vapor. Tal como se detalla en la figura 3.2.

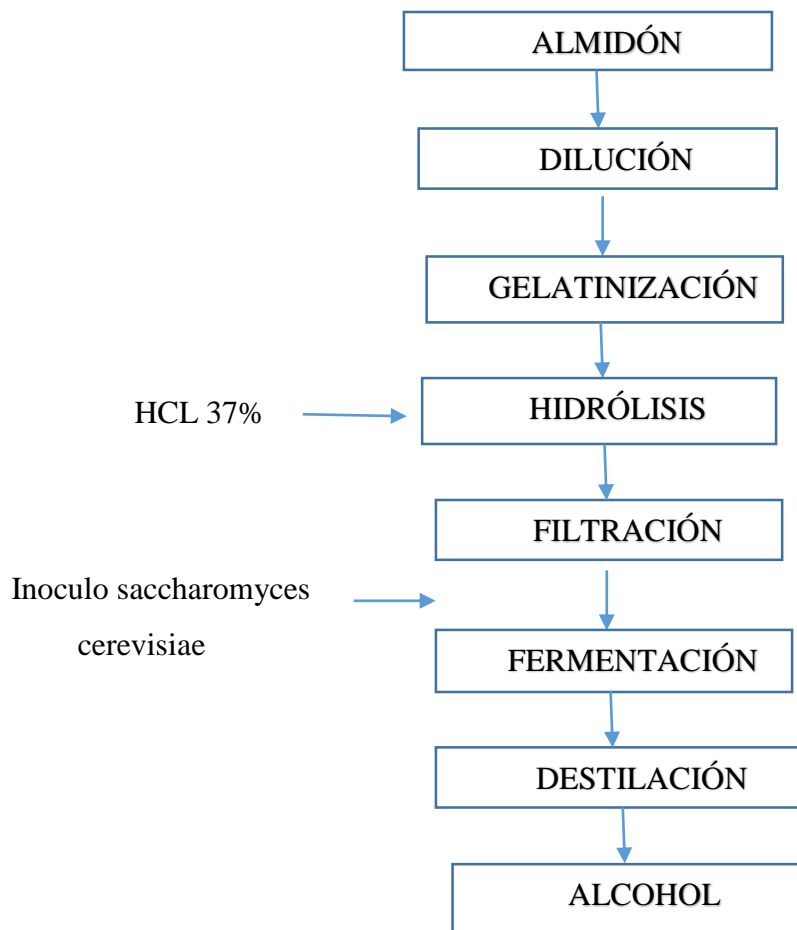


Figura 3.2. Diagrama de flujo para la obtención de etanol a través de hidrólisis ácida de almidón de maíz.

Elaboración propia.

Descripción de las actividades realizadas en la obtención de etanol a través de hidrólisis ácida de almidón de maíz, se detalla a continuación:

Dilución: Se realizaron 25 diluciones. En concentraciones de 15% ,20%,25%,35% y 45% de almidón y los tiempos fueron 15, 25, 35,45 y 55 minutos respectivamente. Tal como se muestra en la figura 3.3

Gelatinización: Se somete a un precalentamiento (60°C) para que el almidón sea fácil de hidrolizar. Tal como se muestra en la figura 3.4.

Hidrólisis: Para la hidrólisis ácida se utilizó el ácido clorhídrico al 37%. Se llevó a una autoclave a una temperatura de 140 ° C y a una presión de 20 psi tal como se muestra en la figura 3.5.

Filtración: Se realizó con la finalidad de eliminar la dextrina límite, tal como se muestra en la figura 3.6.

Fermentación: En esta etapa se acondiciona adecuadamente para que actúe la levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*), controlando los siguientes parámetros de pH, Temperatura, Concentración de Azúcares, dándole así condiciones necesarias para que se desarrolle la levadura. Tal como se muestra en la figura 3.7.

Destilación: Finalizada la etapa de fermentación se extrajo 100ml de la muestra, luego se procedió a destilar controlando la temperatura de ebullición del alcohol entre un rango de 80 a 85 °C. Después se determinó el %v/v de alcohol de las muestras mediante el picnómetro. Tal como se muestra en la figura 3.8.

La especificación del diseño experimental y muestras utilizados se pueden observar en el Anexo N°1.



Figura 3.3. Diluciones de las muestras.



Figura 3.4. Gelatinización de las muestras.



Figura 3.5. Proceso de Hidrólisis Ácida



Figura 3.6. Eliminación de dextrina límite.



Figura 3.7. Procesos de fermentación



Figura 3.8. Proceso de destilación por arrastre.

3.2.4. Tratamiento estadístico

Para evaluar la optimización en la obtención de etanol a partir de almidón de maíz mediante hidrólisis ácida se realizó un **diseño compuesto central rotacional (DCCR)**, en primer lugar se diseñó un planteamiento **factorial completo de $2^K=2^2$** , incluyendo 4 puntos axiales y 4 repeticiones alcanzando un total de 12 ensayos.

En el cuadro N°3.2 se describe los valores de las dos variables independientes con sus respectivos niveles mínimos, centrales y máximos. En nuestra parte experimental las variables independientes utilizadas fueron Concentración de almidón y tiempo de hidrólisis y la variable dependiente fue rendimiento de etanol. Para determinar la optimización de obtención de etanol a partir de almidón de maíz mediante hidrólisis ácida a través de un diseño compuesto central rotacional (DCCR) a través del programa STATISTICA 10.0.cabe mencionar que las concentraciones de almidón fueron de 35-45 % por presentar mayor cantidad de azúcares reductores, las mismas que serán estudiadas según resultados obtenidos por el método antes mencionado.

En el proceso de hidrólisis se identificó las variables dependientes e independientes tal como se detalla en la siguiente fórmula asociada al modelo utilizado:

$$Y = \alpha + \beta X_1 + \gamma X_2 + \delta X_1^2 + \theta X_2^2 + \rho X_1 \cdot X_2$$

- α = es el intercepto en la gráfica
- $\beta, \gamma, \delta, \theta, \rho$ = son coeficientes de la ecuación.
- **Variables independientes:**
- X_1 = Concentración de almidón (35-45%)
- X_2 = Tiempo de hidrólisis con ácido clorhídrico (15-55 min)
- **Variables dependientes**
- Y = Rendimiento de etanol.

Para la aplicación del método DCCR se procederá a realizar un cuadro con valores utilizados en las dos variables seleccionadas (variables independientes X_1 y X_2)

Cuadro N° 3.2. Nivel mínimo, central y máximo a la escala natural para el DCCR

Variable	-1.41	-1	0	+1	+1.41
X ₁	35	37.5	40	42.5	45
X ₂	15	25	35	45	55

Del cuadro N° 3.2, se toman los valores para construir el planteamiento de la matriz de delineamiento teniendo como respuestas el rendimiento de etanol (Y_i). Tal como se muestra en el cuadro N° 3.3.

Cuadro N° 3.3. Matriz de delineamiento para hidrólisis ácida.

Ensayos	X1 (Concentración)		X2 (Tiempo)		Y1
	Código	Real	Código	Real	Rendimiento %
1	-1	37.5	-1	25	Y _{1,1}
2	+1	42.5	-1	25	Y _{1,2}
3	-1	37.5	+1	45	Y _{1,3}
4	+1	42.5	+1	45	Y _{1,4}
5	-1.41	35	0	35	Y _{1,5}
6	+1.41	45	0	35	Y _{1,6}
7	0	40	-1.41	15	Y _{1,7}
8	0	40	+1.41	55	Y _{1,8}
9	0	40	0	35	Y _{1,9}
10	0	40	0	35	Y _{1,10}
11	0	40	0	35	Y _{1,11}
12	0	40	0	35	Y _{1,12}

Con esto se busca analizar las respuestas obtenidas del DCCR, a través del programa STATISTICA 10.0, para determinar los efectos de cada variable en el proceso de obtención de etanol a partir de almidón de maíz mediante hidrólisis ácida.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Determinación de efecto de cinética, rendimiento, tiempo de hidrólisis en la producción de etanol a partir de almidón de maíz mediante hidrólisis ácida.

En el cuadro 4.1 se muestran los valores reales y codificados con sus respectivos rendimientos por ensayo, en donde se observa que el ensayo 7 alcanza un menor rendimiento con una concentración de 54.6%, con una concentración de almidón de maíz de 40% en un tiempo de hidrólisis de 15 minutos, así mismo se observa que el mayor rendimiento se obtuvo en el ensayo N° 5 con un 78.1% con una concentración de 35% de almidón y un tiempo de hidrólisis de 35 min, la variación se explica porque algunos autores consideran que a menor concentración de almidón se obtiene mayor rendimiento de etanol tal como lo menciona (Valencia, 1987).

Por otra parte se observa que en los ensayos 9, 10, 11, 12 del punto central hay una ligera variación con respecto al rendimiento de etanol, lo que deduce que hay diferencia significativa y que el proceso ha sido el indicado.

Cuadro N° 4.1. Respuestas de la matriz de consistencia con datos reales y codificados de DCCR en la hidrólisis ácida.

Ensayos	X1 (Concentración)		X2 (Tiempo)		Y1
	Código	Real	Código	Real	Rendimiento %
1	-1	37.5	-1	25	69.15
2	+1	42.5	-1	25	62.2
3	-1	37.5	+1	45	74.8
4	+1	42.5	+1	45	63.8
5	-1.41	35	0	35	78.1
6	+1.41	45	0	35	61.2
7	0	40	-1.41	15	54.6
8	0	40	+1.41	55	68.15
9	0	40	0	35	67.15
10	0	40	0	35	66.45
11	0	40	0	35	66.18
12	0	40	0	35	67.46

Fuente: elaboración propia.

Análisis estadístico a través del software STATISTICA 10.0

En la figura 4.1, se muestra un análisis de varianza (ANOVA) para la variable dependiente (rendimiento de etanol) y para las variables independientes (concentración de almidón y tiempo de hidrólisis) estudiando su comportamiento en el proceso de obtención de etanol.

El coeficiente de correlación (R^2) es una función que ayudara a confirmar si el modelo es significativo, donde este valor numérico debe ser alto para que pueda ser significativo, de la misma manera el coeficiente de correlación R ajustado ($R > 70$).

En la figura 4.1, muestra que $R^2 = 96.938$ y el R ajustado de 94.386 , significa no hay mucha variación, concluyendo que la ecuación de regresión es estadísticamente significativa y predictiva por lo tanto hay una buena concordancia en los valores experimentales y los previstos en el modelo.

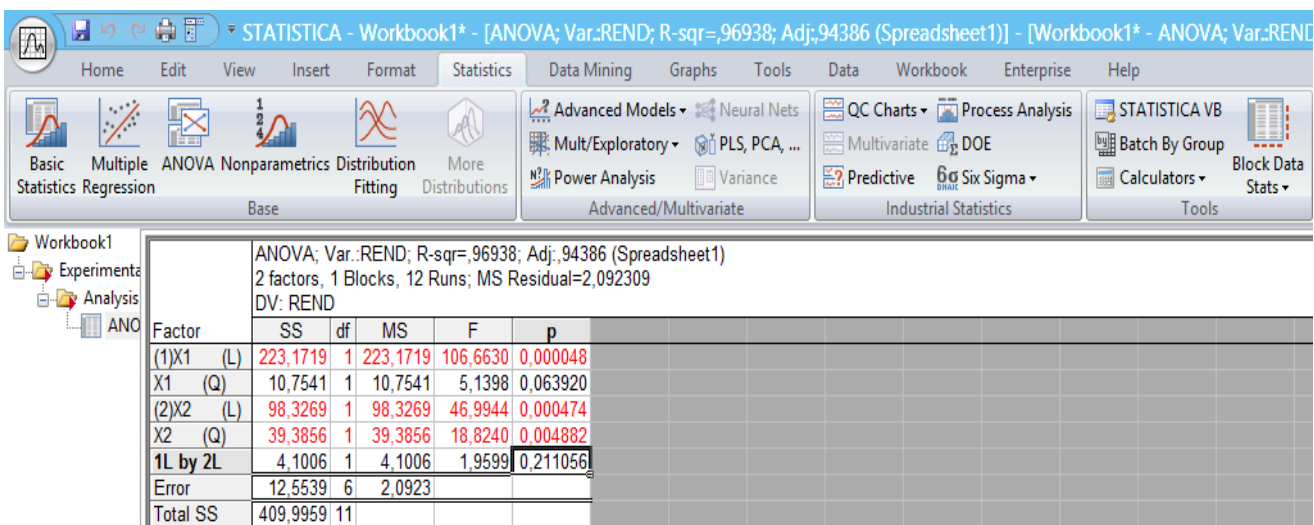


Figura 4.1. Análisis de varianza (ANOVA) rendimiento de etanol.

Fuente: software ESTATISTICA 10.0

En el cuadro N° 4.2, se muestra un análisis de los coeficientes de regresión para el rendimiento de etanol.

FACTOR	RENDIMIENTO		
	COEF. REGRESIÓN	ERROR PURO	P
INTERACCIÓN	234,6486	90,91071	0,041708
1 Concentración de almidón (L)	-9,3955	4,13788	0,063615
Concentración de almidón (Q)	0,1136	0,05011	0,063920
2 TIEMPO (L)	2,8574	1,17851	0,051542
TIEMPO (Q)	-0,0136	0,00313	0,004882
1L by 2L	-0,0405	0,02893	0,211056

Cuadro 4.2. Coeficientes de correlación para el rendimiento.

Fuente: software STATISTICA 10.0

Los coeficientes del cuadro 4.2 permiten elaborar un modelo matemático de segundo orden donde se evalúa la interacción de las variables dependientes e independientes para el proceso de obtención de etanol.

$$Y_i = 234.65 - 9.39 \cdot X_1 + 2.86 \cdot X_2 + 0.11 \cdot X_1^2 - 0.03 \cdot X_2^2 - 0.0405 \cdot X_1 \cdot X_2$$

Dónde:

X_1 = concentración de almidón.

X_2 = tiempo de hidrólisis.

Y_i = rendimiento de etanol.

En el cuadro 4.3, mediante el modelo matemático se estima el rendimiento previsto según el programa DCCR STATISTICA 10.0.

Cuadro N° 4.3: Comparación de valores experimentales y previstos según DCCR

Ensayo	rendimiento experimental	rendimiento previsto DCCR
1	69.15	67.04
2	62.2	60.44
3	74.8	74.79
4	63.8	64.14
5	78.1	78.72
6	61.2	61.47
7	54.6	56.09
8	68.15	67.54
9	67.15	67.25
10	66.45	67.25
11	66.18	67.25
12	67.46	67.25

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la parte experimental y al modelo previste se alcanza un mayor rendimiento de etanol a una concentración de 35% de almidón y un tiempo de hidrólisis ácida de 35 min. Tal como se observa en el cuadro 4.3.

En la figura 4.2, se muestra las gráficas de superficie de respuestas de acuerdo a lo manifestado en el modelo matemático de orden 2, es muy significativo para la estimación del rendimiento por ello es posible diseñar la superficie de respuestas que permiten definir las condiciones más adecuadas que maximicen el rendimiento. Tal como se observa en la figura 4.2.

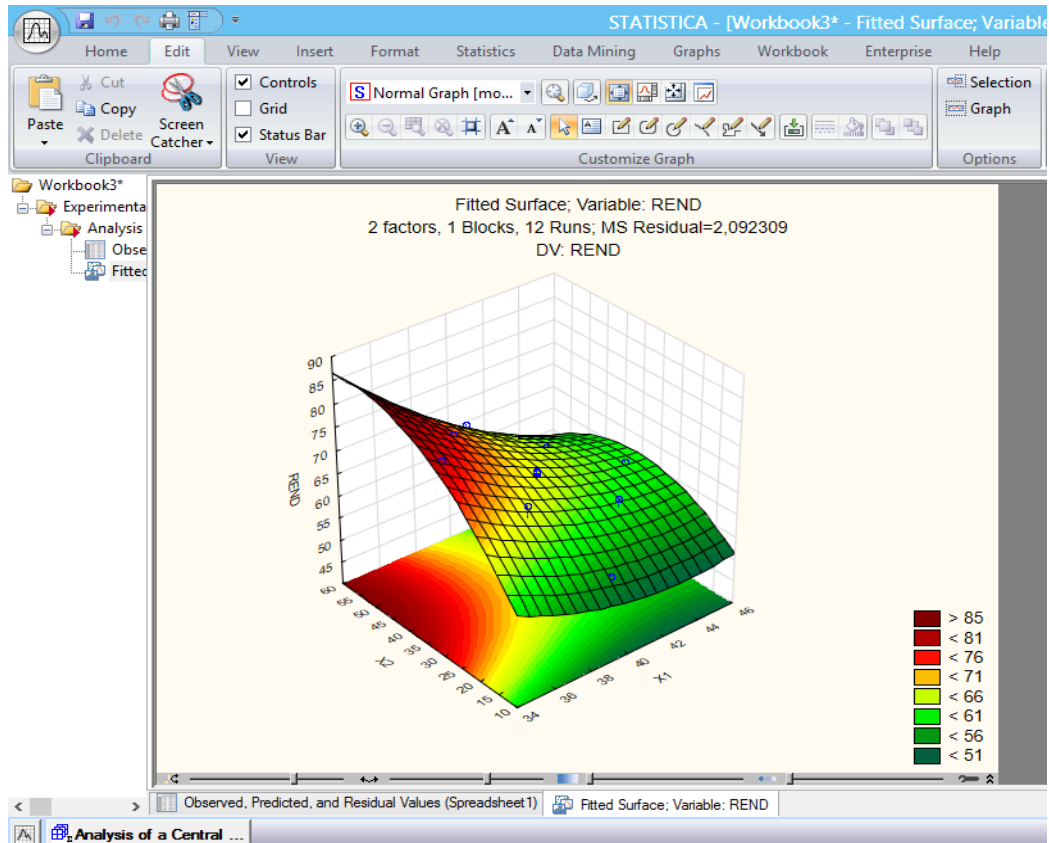


Figura 4.2: Superficies de respuestas para la estimación del rendimiento.

Fuente: software STATISTICA 10.0

4.1.2. Determinación de las características físicas y químicas del etanol, obtenido en la hidrólisis ácida

Para determinar las propiedades físicas y químicas del etanol en el presente trabajo se utiliza unos modelos para el cálculo de las propiedades físicas de etanol. Esto se logra a través de un método rápido y sencillo, partiendo de propiedades que se puedan medir experimentalmente tales como densidad, viscosidad conductividad térmica. Los modelos para el cálculo de las propiedades antes mencionadas se obtienen a partir de ajustes estadísticos. Cuyos resultados serán comparados con fuentes bibliográficas.

4.1.2.1 Cálculo de la densidad: Para la densidad del etanol en un intervalo de temperatura entre 0°C a 100°C. Se aplica el siguiente modelo matemático según Venkatesh (1997):

$$D_{\text{etanol}} = 805.951 - 0.7767 \cdot T - 0.0013 \cdot T^2$$

Dónde:

D= densidad [Kg/m³]

T= Temperatura [°C].

Para estudiar la variabilidad de la densidad con respecto a la temperatura de destilación por arrastre simple se tomaron los datos del cuadro N° 4.3. En la figura 4.3, se detalla el cambio de la densidad a medida que aumenta la temperatura.

Cuadro N° 4.4. Mediciones de densidad con respecto a la temperatura.

Temperatura	Densidad kg/m ³
20	789.897
30	781.48
50	763.866
70	745.212
80	735.495
90	725.518

Fuente: Elaboración Propia.

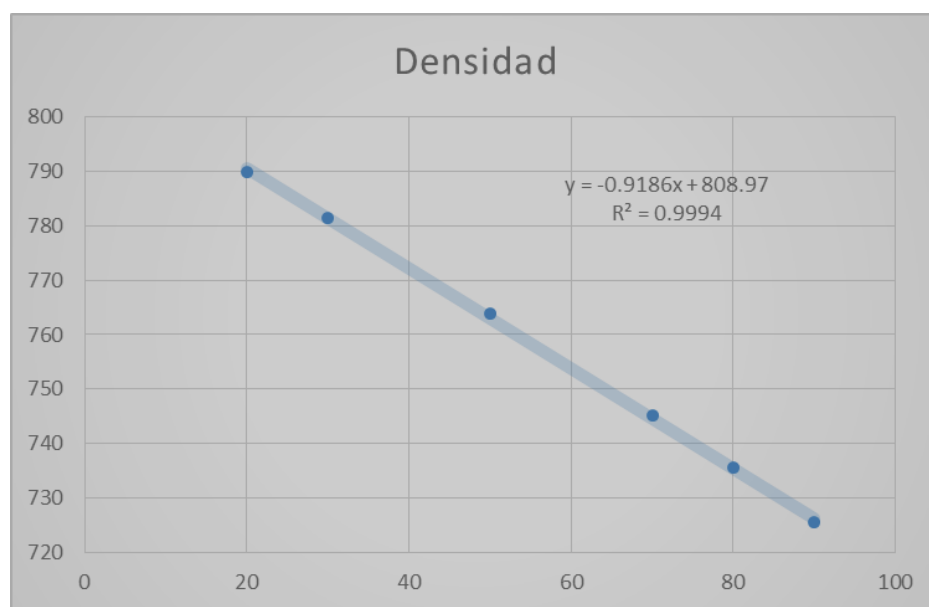


Figura 4.3: Variación de la densidad con respecto a la temperatura.

Elaboración Propia.

4.1.2.2. Cálculo de Viscosidad

Según Venkatesh (1997) permiten determinar la Viscosidad del etanol en fase líquida en función de la temperatura para diferentes intervalos haciendo uso de los siguientes modelos matemáticos:

Para intervalos de 0-30°C

$$U_{\text{etanol}} = 1.747 - 0.0256 * T$$

Para intervalos de 30°C-100°C.

$$U_{\text{etanol}} = 1.5539 - 2.1517 \cdot 10^{-2} \cdot T + 9.2143 \cdot 10^{-5} \cdot T^2$$

Donde

U = Viscosidad

T= Temperatura [°C].

Para estudiar la variabilidad de la viscosidad con respecto a la temperatura de destilación por arrastre simple se tomaron los datos del cuadro N° 4.5. En la figura 4.4, se detalla el cambio de la viscosidad a medida que aumenta la temperatura.

Cuadro N° 4.5. Mediciones de viscosidad con respecto a la temperatura.

Temperatura	Viscosidad
20	1.2350000
30	0.9790000
50	0.7084075
70	0.4992107
80	0.4222552
90	0.3637283

Elaboración Propia.

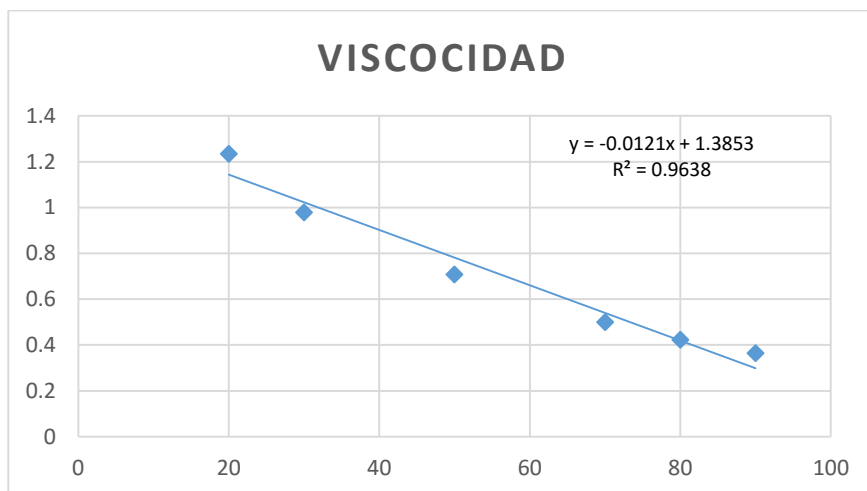


Figura 4.4. Variación de la Viscosidad con respecto a la temperatura

Elaboración Propia.

4.1.2.3. Cálculo de conductividad térmica.

Según Venkatesh (1997) para determinar la conductividad térmica del etanol en fase líquida en función de la temperatura para diferentes intervalos de 0°C a 90°C se hace uso del siguiente modelo matemático:

$$K_{\text{etanol}} = 0.5513 + 0.0026 * T - 1.29 * 10^{-5} * T^2$$

Donde

K= conductividad térmica

T= temperatura.

Para estudiar la variabilidad de la conductividad con respecto a la temperatura de destilación por arrastre simple se tomaron los datos del cuadro N° 4.6. En la figura 4.5, se detalla el cambio de la conductividad a medida que aumenta la temperatura.

Cuadro N° 4.6. Mediciones de conductividad térmica con respecto a la temperatura.

Temperatura	Conductividad térmica
20	0.1732
30	0.1712
50	0.1644
70	0.1584
80	0.1554
90	0.1524

Fuente: elaboración Propia

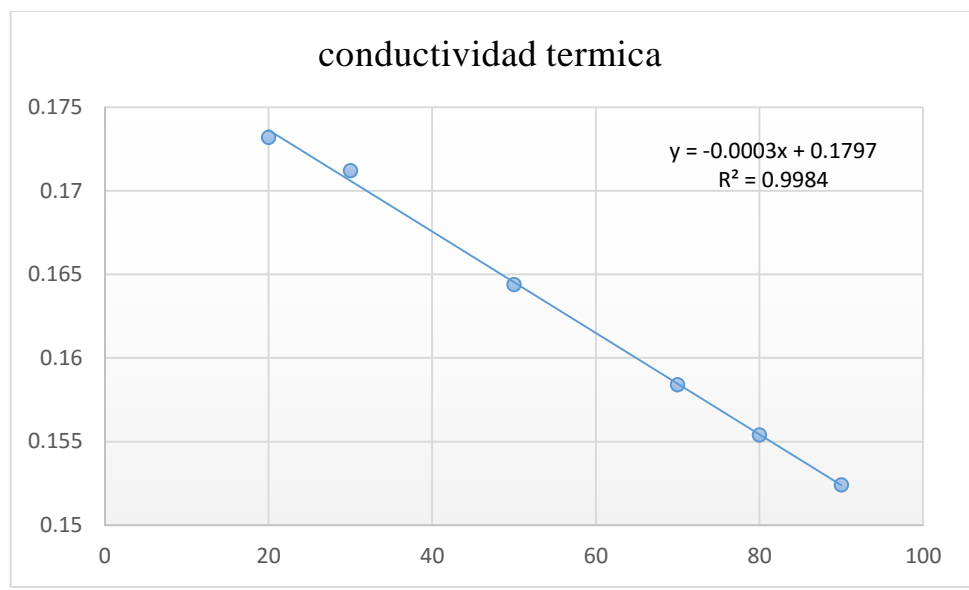


Figura 4.5. Variación de la Conductividad con respecto a la temperatura.

Elaboración Propia.

4.1.3 Determinación del orden de la reacción cinética del etanol obtenido por hidrólisis ácida a partir del almidón de maíz.

Para determinar el número de orden de reacción cinético en la hidrólisis ácida de obtención de etanol a partir del almidón, se partió de tres premisas propuestas por Johntone (1984), tal como se detalla en la figura 4.6.

Tres supuestos: orden cero, orden uno y orden dos.

n=0	n=1	n=2
$\frac{d[A]}{dt} = -k$	$\frac{d[A]}{dt} = -k[A]$	$\frac{d[A]}{dt} = -k[A]^2$
$[A] = [A]_0 - kt$	$\ln[A] = \ln[A]_0 - kt$	$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + kt$

Fuente: Johntone (1984)

Figura N° 4.6. Orden de reacción

En nuestro diseño experimental se determinó el orden de la reacción, mediante la relación existente entre el tiempo de destilación y la concentración de etanol obtenido. Tal como se muestra en el cuadro N° 4.7.

Cuadro N° 4.7. Datos obtenidos en el proceso de destilación

Tiempo de destilación (minutos)	Concentración de etanol g/100ml.
5	7.4
10	9.25
15	12.4
20	14.3
25	16.2
32	18.1

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados obtenidos del cuadro 4.7, se le aplicara las tres premisas propuestas por Johntone (1984) para determinar el orden de la reacción tal como se detalla en el cuadro N° 4.8.

Cuadro N° 4.8. Determinaciones del número de orden de la reacción

Análisis/ min	5	10	15	20	25	32
etanol [A]	7.4	9.25	12.4	14.3	16.2	18.1
Ln [A]	2.00148	2.22462	2.51769	2.66026	2.78501	2.89592
1/[A]	0.135135	0.108108	0.080645	0.06993	0.061728	0.055249

Fuente: elaboración propia.

Se grafican los valores obtenidos del cuadro 4.8, ubicando en el eje X el tiempo (5, 10, 15, 20, 25 y 32 minutos), de exposición al proceso de destilación y en Y el valor de la concentración de etanol [A].

- Para orden de reacción cero ($n=0$) se tiene la siguiente gráfica.



Figura 4.7. Reacción de orden cero (n=0).

Elaboración propia

- Para orden de reacción de orden uno (n=1), se tiene la siguiente gráfica:

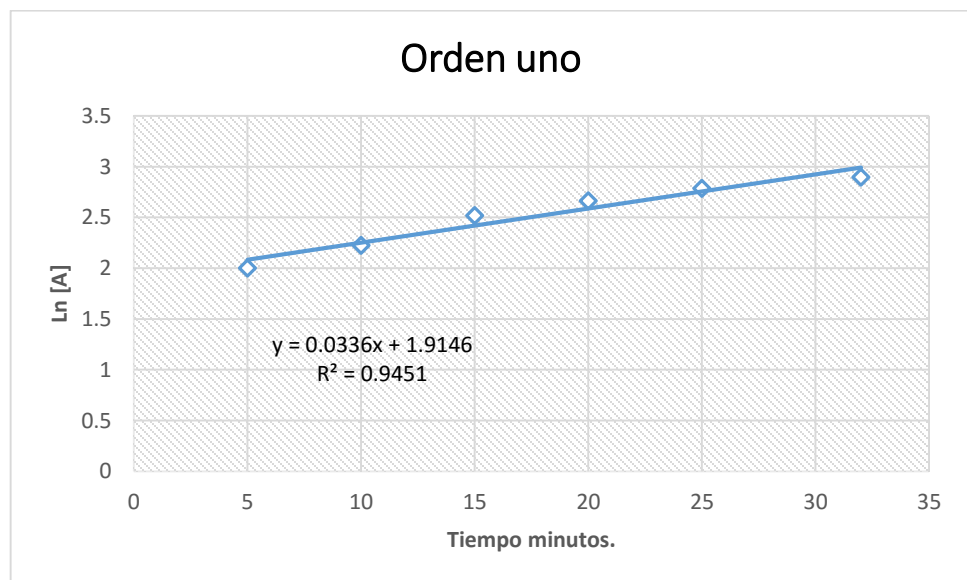


Figura 4.8. Reacción de orden uno (n=1).

Elaboración propia

- Para orden de reacción de orden dos ($n=2$), se tiene la siguiente gráfica:

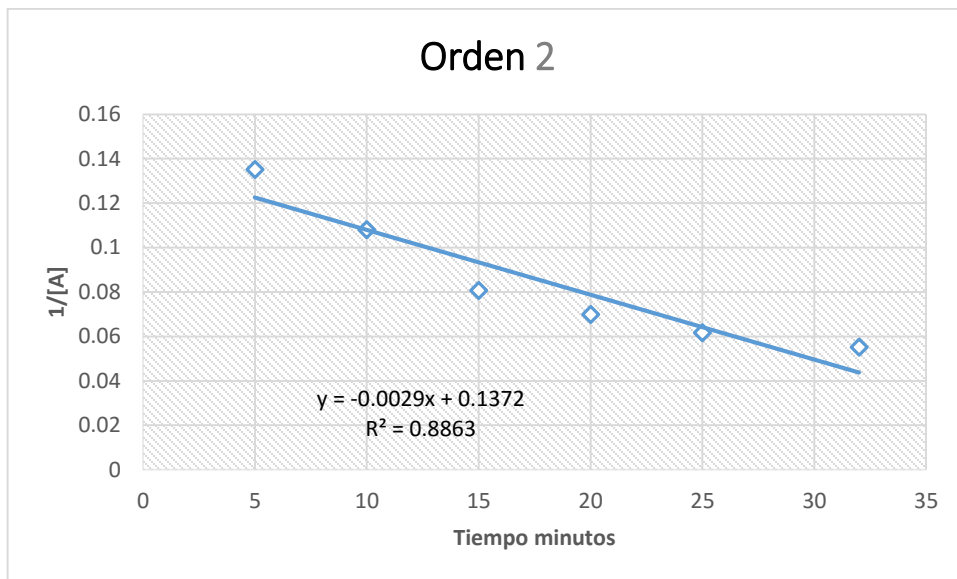


Figura 4.9. Reacción de tipo orden dos ($n=2$).

Elaboración propia

De la figura 4.7, 4.8 y 4.9, se determinará el orden de la reacción según el cuadro N° 4.9.

Cuadro N° 4.9. Determinación de orden de reacción y R^2

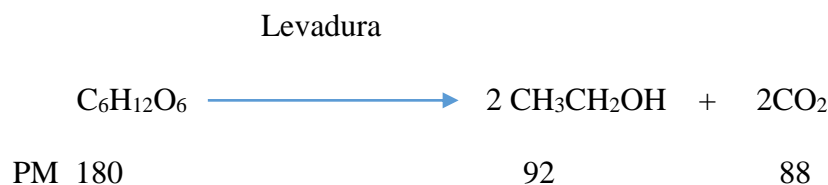
Numero de orden de reacción	Ecuación	Coefficiente de correlación (R^2)
0	$Y = 0.4094x + 5.6409$	$R^2 = 0.9828$
1	$Y = 0.0336x + 1.9146$	$R^2 = 0.9451$
2	$Y = -0.0029x + 0.1372$	$R^2 = 0.8863$

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al cuadro N° 4.9, se puede decir que para nuestro caso la reacción para el proceso de obtención de etanol a partir de hidrólisis ácida de almidón de maíz es de orden cero dado que existe una mayor correlación y R^2 se aproxima a 1.

4.1.4. Determinación del balance de materia en el rendimiento de etanol.

Para determinar el rendimiento de etanol se parte del esquema propuesto por Gay Lussac donde propone un rendimiento teórico por cada 100 g de glucosa ($C_6H_{12}O_6$), cuya ecuación estaría dada de la siguiente manera:



Según Gay Lussac afirma lo siguiente:

- Si $180\text{g de } C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 92\text{g de } CH_3CH_2OH$
 $100\text{ g de } C_6H_{12}O_6 \longrightarrow X\text{ g de } CH_3CH_2OH$
 $X = 100\text{ g de } C_6H_{12}O_6 * 92\text{g de } CH_3CH_2OH / 180\text{g de } C_6H_{12}O_6$
 $X = 51.1\text{ g de } CH_3CH_2OH.$
- Si $180\text{g de } C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 88\text{g de } CO_2$
 $100\text{ g de } C_6H_{12}O_6 \longrightarrow X\text{ g de } CO_2$
 $X = 100\text{ g de } C_6H_{12}O_6 * 88\text{g de } CO_2 / 180\text{g de } C_6H_{12}O_6$
 $X = 48.9\text{ g de } CO_2.$

Entonces el rendimiento teórico según Gay Lussac sería de 51.1 para CH_3CH_2OH y de 48.9 para CO_2 .

En nuestra parte experimental se obtuvo una dilución de 750 ml de almidón de maíz donde se produjeron 61ml de etanol a partir de 120.075 g de azúcares reductores, se midió la densidad del etanol cuyo resultado fue de 0.786 g/ml, con esto determinamos la masa del etanol formada que fue de 47.946 g.

Para determinar el rendimiento de la conversión de azúcares reductores a etanol se divide la masa de etanol (47.946 g) entre la masa total de azúcares reductores (120.075 g) donde se obtuvo un rendimiento práctico de 39.93%.

Para determinar de nuestra eficiencia de fermentación según Gay Lussac se define de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia} = \text{Rendimiento práctico} / \text{Rendimiento teórico} * 100.$$

Para nuestra parte experimental sería 78.14.

4.1.5 Estimación de costo de producción de etanol a partir de almidón de maíz a nivel de laboratorio.

Para la estimación de los costos de procesamiento se considera los costos de agua destilada empleada en la dilución, consumo de energía en la hidrólisis ácida, fermentación, destilación; cabe mencionar que para esta estimación se consideran las tarifas de energía de manera referencial.

Cuadro N° 4.10. Estimaciones de consumo de energía para procesar 1kg de materias utilizadas.

Consumo de energía por operación	Consumo (Kwh)
Dilución	0,0
Gelatinización	0.15
Hidrólisis ácida	6
Cultivo de la levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0.0
Destilación	0.75

Elaboración propia.

En el cuadro N° 4.11, se estima el costo de procesamiento de 1kg de almidón de maíz hasta la obtención de etanol a través de hidrólisis ácida y estimación de 1 kg de jugo de caña de azúcar.

Cuadro N° 4.11. Estimación de costos por kilogramo

DETALLE	CANTIDAD	COSTO (soles)	SUB TOTAL (soles)	TOTAL
Almidón de maíz	1Kg	4.5	4.5	42.95
Insumos				
Agua destilada	2L	5	5	
Ácido clorhídrico.	100ml	30	30	
Consumo de energía del proceso según cuadro 4.10	6.9 Kwh	6.9 Kwh*0.5 S/	3.45	30.45
Caña de azúcar	1 kg de jugo de caña	20	20	
Insumos				
Agua destilada	2L	5	5	
Levadura	100 gr	2	2	30.45
Consumo de energía del proceso según cuadro 4.10	6.9 Kwh	6.9 Kwh*0.5 S/	3.45	

Elaboración Propia

4.2 DISCUSIÓN

- En nuestra fase experimental el mayor rendimiento de etanol fue de 78.1 % realizando el ensayo mediante hidrólisis ácida, Pereda, (2009) realiza un estudio

sobre efecto de la concentración de plátano y el tiempo de hidrólisis con ácido clorhídrico, α -amilasa en la producción de etanol, donde obtiene un rendimiento de etanol de 86.02%, mediante vía enzimática donde se concluye que podría ser una mejor alternativa para la producción de etanol. Se podría decir que el mayor rendimiento se debe a un mejor aprovechamiento en el proceso de sacarificación y licuefacción donde se podría obtener mayor cantidad de azúcares reductores.

- Yucra (2012) En la hidrólisis realizada a distintas concentraciones de suspensión de camote: 25, 33, 40, y 50 % m/v; manteniendo fija la concentración de la enzima alfa-amilasa en 2,0 mkg de camote y de la amiloglucosidasa en 0,9 mUkg de solución hidrolizada, se demostró, que a la concentración de sustrato al 50% m/v se obtuvo la máxima conversión a azúcares que es 90,3 %. Lo que indica que con el método enzimático se puede llegar a tener mayor cantidad de azúcares reductores.
- Pereda (2012), mediante la metodología de superficie de respuestas obtuvo los niveles óptimos para la hidrólisis ácida los cuales tuvieron una concentración de almidón de plátano de 24-25 % y un tiempo de hidrólisis de 40 y 60 min para un rendimiento final de 77.19% de etanol, en la fase experimental de esta investigación el autor obtiene un rendimiento de 76.749 mediante la metodología de superficie de respuestas lo que indica que hay una buena congruencia en los datos obtenidos.

CONCLUSIONES

- En el proceso de hidrólisis el mayor rendimiento en la producción de etanol fue de 78.1% con una concentración de almidón de 35% y un tiempo de hidrólisis de 35 min. Además se obtuvo un menor rendimiento de 54.6 % de producción de etanol a partir de 40% de almidón y un tiempo de hidrólisis de 15 min.
- Para el análisis de varianza (ANOVA) se tiene un $R^2 = 96.938$ y el R ajustado de 94.386, significa no hay mucha variación, por ende, la ecuación de regresión es estadísticamente significativa y predictiva, por lo tanto, hay una buena concordancia en los valores experimentales y los previstos en el modelo.
- Las propiedades del etanol tales como la densidad, viscosidad, conductividad térmica se ven afectadas a medida que la temperatura aumenta presentando una pendiente decreciente lo que indica su volatilidad con el incremento de la temperatura.
- Para determinar el orden de la reacción, el autor trabajó con las tres premisas propuestas por Johntone (1984) y de ella se concluye que es de orden cero dado que presenta un coeficiente de correlación de ($R^2 = 0.9828$) cercano a 1, lo que significa que hay una mayor congruencia en los datos tal como se muestra en el cuadro N° 4.9.
- En la Determinación del balance de materia en el rendimiento de etanol se inicia a partir de la ecuación propuesta por Gay Lussac donde nos indica que el rendimiento teórico por cada 100g de glucosa es de 51.1%, en fase experimental, el autor obtuvo un rendimiento practico de 39.93 % en conversión de azúcares siendo la eficiencia de 78.14%.
- La estimación de costo de producción a nivel de laboratorio fue de 42.95 soles para procesar 1 kg de almidón de maíz, y 30.45 soles para 1 kg de jugo de caña de azúcar.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio de obtención de etanol a partir de almidón de maíz mediante hidrólisis enzimática. Se sugiere dicha recomendación con la finalidad de poder evaluar el método que optimice la mayor producción de etanol, reduciendo costos de producción, tiempo y optimizando la mayor rentabilidad para el proyecto, ya que, en la región no existe otra alternativa que podría ser más económica.
- Se sugiere realizar estudios con otras materias primas como almidón de yuca, camote con el propósito de optimizar los métodos de hidrólisis ácida buscando mejores rendimientos y mejor aprovechamiento de materia prima, puesto que, en nuestra región Piura hay disponibilidad de estas materias antes mencionadas.
- Se recomienda continuar con las investigaciones realizadas en la presente tesis, con la finalidad de llevarlo a nivel de planta piloto, optimizando los resultados obtenidos y de esta manera poder incursionar en la generación de energías renovables que reduzcan el riesgo de contaminación ambiental, generen nuevas oportunidades laborales y contribuyan al desarrollo del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO O; ORTEGA, F; HIDALGO, C; MORENO, Y. (2005). _Efecto de Diferentes Niveles de Agua Aplicada en Post-Cuaja y en Post-Pinta Sobre la Calidad del Vino cv. Cabernet Sauvignon. Disponible en https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0365-28072005000400006&script=sci_arttext

ACOSTA, C. (2009). Estudio de la cuenca Altoandina del río cañete (Perú): distribución altitudinal de la comunidad de Macro invertebrados bentónicos y caracterización hidroquímica de sus cabeceras cársticas del departamento de biología. (Tesis de Doctorado, Universidad de Barcelona). Recuperado de http://www.ub.edu/riosandes/docs/TESIS_RAUL_ACOSTA.pdf.

ASTURIAS, R; DE LEÓN, R. (2008). Producción de etanol: directamente de caña de azúcar en diferente estado de desarrollo. Revista de la universidad de Guatemala, disponible en: http://uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero17/REVISTA_17_UVG_pags_56-69.pdf.

AYALA, J y PARDO, R (1985). Optimización con diseños experimentales con aplicaciones en ingeniería Lima-Perú PP. 261.

BELTRÁN, R; COMBA, N. (2011). Rendimiento de bioetanol en fermentaciones realizadas con mostos de alta concentración de sólidos. Grupo de investigación de simulación para Ingeniera Química – GISIQ-F-R. Villa María de la UNT. Universidad 450, X580HLR. Villa María. Córdoba. Argentina.

BELLIDO, C. (2013). Obtención de bioetanol 2g a partir de hidrolizados de paja de trigo. Fermentación conjunta de los penta y hexa carbohidratos con pichia stipitis. Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente (Tesis para el Grado de Doctor, Universidad de Valladolid).

BARRERA I; GONZÁLEZ, A; SALGADO, M; ARANDA, JS (2011) A simple metabolic flux balance analysis of biomass and bioethanol production in *Saccharomyces cerevisiae* fed-batch cultures, *Biotechnol. Bioprocess Eng.* 16 (1):13-22. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Juan_Aranda-Barradas/publication/262913980_La_Biosintesis_de_Trehalosa_en_Saccharomyces_cerevisiae_Aspectos_Generales_y_Modelacion_Metabolica/links/00b7d53930d4e027d0000000/La-Biosintesis-de-Trehalosa-en-Saccharomyces-cerevisiae-Aspectos-Generales-y-Modelacion-Metabolica.pdf

BARRIENTOS, F. (2008}. Incidencia de la Producción de Biocombustibles en la Agricultura Peruana. Instituto de Investigación Económica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima.

CARDONA, C; SÁNCHEZ, O; MONTOYA, M; QUINTERO, J. (2005). Simulación de procesos de obtención de etanol a partir de maíz y de caña de azúcar. Science et techie año XI nro. 28 octubre del 2005, UTP, ISSN 011221701. Disponible en: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6859>

CASTAÑO, P; MEJÍA, G; CARLOS, E. (2008). Producción de Etanol a partir de Almidón de Yuca utilizando la Estrategia de Proceso Sacarificación - Fermentación Simultáneas (SSF); Revista Vitae de la Facultad de Química

CONTRERAS, A. (2014). Productos de la fermentación alcohólica; un beneficio para la salud. Programa de Ingeniería Química. Universidad de San Buenaventura seccional Cartagena. D. T y C., 2014. Colombia. Disponible en: https://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/2613/1/Fermentaci%C3%B3n%20alcoh%C3%B3lica%20un%20proceso_Carlos%20Contreras_USBCTG_2015.pdf

CRISPIN (2013),” análisis de costos de producción de biocombustible en Perú: una dimensión social”. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/013/i1712s/i1712s06.pdf>.

CHANDER, C; VILLALOBOS, N; GONZALES, E. (2012). Hidrólisis diluida en dos etapas de bagazo de caña de azúcar para la producción de azúcares fermentables. Vol. 12, N° 2, (254 - 253). ISSN 1317 – 225. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/904/90426810002.pdf>.

DOMÍNGUEZ, M; ALVARES, A; (2011). Estudio de la cinética de hidrólisis acida del bagazo de caña de azúcar sin pre tratamiento para la obtención de azúcares reductores. Volumen 12. Revista Iberoamericana de polímeros. México. Disponible en <http://www.reviberpol.iibcaudo.com.ve/pdf/MAY11/dominguez.pdf>.

ESPINOSA, F. (2013). Obtención de etanol mediante hidrólisis alcalina, enzimática y fermentación a partir del excedente orgánico del banano variedad musa paradisiaca. Departamento de Ingeniería Química (Título de Ingeniero Químico, Universidad Central de Ecuador).

ESTÉVEZ, R; SAURA G; MARTÍNEZ, A; GARCÍA R; BELLO D. (2008). Experiencias en la producción de etanol a partir de jugos de caña de azúcar mezclados. Parte II. Efecto de la temperatura y concentración de azúcar. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/2231/223120681004/>

FENNEMA (2010). Química de los Alimentos.

FERRER, J; PÁEZ, G; ARENAS, L; CHANDLER, C; MÁRMOL, Z; SANDOVAL, L. (2002). “Cinética de la hidrólisis ácida de bagacillo de caña de azúcar”, Revista de la Facultad de Agronomía LUZ, Pp, 19 - 23.

FOLCH-MALLOL JL, GARAY-ARROYO A, LLEDÍAS F. (2004). La respuesta al estrés en la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Pg. 24-46. Disponible en: <http://www.mediagraphic.com/cgi-bin/new/resumenI.cgi?IDARTICULO=1160>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (INEI). (2016). Producción de maíz amarillo creció en un 25.2 en noviembre de 2015, accesado el 22 de enero del 2016.

JOHNTONE, H. (1984). Análisis Moderno de los Alimentos. Acriba, Zaragoza, p125 -134.

KRETZSCHMAR, H. (1961). Levaduras Y Alcoholes Y Otros Productos de la Fermentación. Editorial Reverte S.A. México

LIGA DE DEFENSA DEL MEDIO AMBIENTE. (2011). Etanol. Artículo Periodístico. Consultada el 11 de Octubre de 2011, <http://www.lidema.org.bo/2Etanol.pdf>.

MALUENDA J. (2015). Producción mundial de Etanol, para los principales productores de Etanol y Biocombustibles. Universidad de Zaragoza. España.

MALLAPOMA, S; RAMOS, R. (2014). Efecto del método de hidrólisis en el almidón de papa (*Solanum tuberosum*) para la obtención de alcohol Universidad Nacional del Centro del Perú- Huancayo. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1233/MALLAUPOMA%20MISARI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MEDINA, L; CASTILLO, E. (2014). Generación y composición de Residuos sólidos en la Localidad urbana pequeña en el estado de Veracruz México. 3 (1)81-90. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/370/37029961007.pdf>

MÉNDEZ, J; GAVIRIA, C (1979). Obtención de alcohol etílico a partir de los residuos del banano. Universidad nacional de Colombia. Facultad de minas. Medellín. 194 p.

MEZA, J; YÁÑEZ, L. (1979). Obtención de alcohol combustible a partir del banano. Departamento de ciencias fisicoquímicas. Facultad de ingeniería química. Universidad industrial de Santander.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO: SISTEMA INTEGRADO DE ESTADÍSTICA AGRARIA SIEA. (2015). Perú recuperado en http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/boletineselectronicos/estadisticaagrariamensual/2015/bemsa_enero15-final.pdf

MOORTHY, S. (2002) “Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: A review,” *Starke/Starch*, 54. 559-592. Disponible en: <http://www.scribpub.com/reference/195940>

OLIVA, M. (2014). Posible proceso productivo de etanol con residuos de banano y sus impactos en el Valle del Chira. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Lima, Perú. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2045>

OTERO, M; SAURA, M.; VALDIVIEZO, J. (2005). Producción de etanol a partir de diferente materia prima. Un análisis comparativo ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar. Vol. XXXIX.nro2, pp18-21. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223120661004.pdf>.

PEÑA, C; ARANGO, R. (2008). Evaluación de la producción de etanol utilizado como cepa recombinante de *Saccharomyces Cerevisae*, a partir de melaza de caña de azúcar. *Dyna*, año 76, nro. 159, pp 153- 161. Medellín. ISSN 0012- 7352.

PEÑA, M. Y SÁNCHEZ, J. (2007). Hidrólisis del bagacillo de la caña de azúcar a bajas concentraciones de ácido y diferentes relaciones líquido-sólido. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

PERDOMO, M. (2002). Presupuestos-finanzas. Ediciones contables, administrativas, financieras y auditorias. Pp 88-98.

QUINTERO, R; GARIBAY, G. (1998). Biotecnología Alimentaria. Primer Edición. Editorial LIMUSA, México.

REYNA, P; GALÁN, E; (2004). Características de los trabajos publicados sobre las propiedades de las plantas en revistas médicas peruanas. Rev. Perú Med Exp Salud Pública. 2009; 26(3): 314-23

RODRÍGUEZ, K. (2003). Influencia del pH sobre la producción de biomasa y etanol por dos cultivos de *Saccharomyces* spp. MIT.L-13. Tesis para optar el título biólogo- microbiólogo. Universidad Nacional de Trujillo.

SARKAR, N; GHOSH, S.K; BANNERJEE, S; AIKAT, K. (2012). Bioethanol production from agricultural wastes: an overview. Renewable Energy 37, 19–27.

SARROUH B, JOVER J, GONZÁLEZ E. (2005). “Estudio de la Hidrólisis ácida del bagazo con ácido sulfúrico concentrado utilizando dos variantes de una sola etapa y una sola etapa modificada para la obtención de etanol”, Ingeniería e Investigación, 25(3), 34.

SERRATOS J. (2009). El Origen y Diversidad del Maíz en el Continente Americano. Universidad autónoma de México. Pp 10 – 18. Recuperado <http://www.greenpeace.org/mexico/global/mexico/report/2009/3/el-origen-y-la-diversidad-del.pdf>.

TÉLLEZ, R. (2014). Composición química del grano de Maíz. [Blog]. Asesorías y Servicios para excelencia. <http://www.consejoempresarialparalaindustriadelmaiz.com/single-post/2014/03/07/La-composición-química-del-grano-de-maíz>. 10 de junio del 2017.

TETLOW, I; M, MORELL; M, EMES. (2004). Recent developments in understanding the regulation of starch metabolism in higher plants. J Exp Bot Vol 55 N° 406 pp 2131- 2145.

USUCACHI, P. (2011). Proceso de Obtención de Bioetanol a partir de papa peruana. Departamento de Ingeniera Química y Textil (Tesis para Titulo, Universidad Nacional de Ingeniera).

VÁZQUEZ, E. (2017). Hidrólisis de los polisacáridos. Bioquímica y biología molecular en línea. ECURED.

VENKATESH. L (1997). “Choice of thermodynamic models for use in simulation programs”. Chemical Engineering World. Vol. 32. pp. 155-157.

VERGAGNI, G. (2004). La industria del Etanol a partir del Maíz. Trabajo de investigación realizado para MAIZAR (asociación de maíz argentino). Buenos aires.

VIDAL, R. (1990). Estudio de obtención de alcohol a partir del bagazo de caña de azúcar. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Perú).

ANEXO N° 1

TABLA N° 01. MUESTRAS EXPERIMENTADAS

Periodo min	Concentraciones %	15					20					25					35					45				
Tiempo		15	25	35	45	55	15	25	35	45	55	15	25	35	45	55	15	25	35	45	55	15	25	35	45	55

TABLA N° 02. MUESTRAS SELECCIONADAS

Periodo min	Concentraciones %	35					45				
Tiempo		15	25	35	45	55	15	25	35	45	55

Se seleccionó estas muestras a concentraciones de almidón de 35 % y 45 %, después de evaluarlas con el método de refractometría, ya que dichas muestras contienen mayor cantidad de azúcares reductores.